



**Desenvolvimento de um WebSIG para apoio
à decisão na escolha de residência**

Lino de Serrano e Fonseca Bento

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas
de Informação Geográfica

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que o trabalho contido neste documento é da minha autoria e não de outra pessoa. Toda a assistência recebida de outras pessoas está devidamente assinalada e é efetuada referência a todas as fontes utilizadas (publicadas ou não).

O trabalho não foi anteriormente submetido ou avaliado na NOVA Information Management School ou em qualquer outra instituição.

Paris, 23/11/2017

Lino de Serrano e Fonseca Bento

[a versão assinada pelo autor encontra-se arquivada nos serviços da NOVA IMS]

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Pedro Cabral pela motivação, disponibilidade e aconselhamento ao longo do desenvolvimento deste projeto, ao Miguel Santos pelas revisões minuciosas, e ao Rui Nunes pela paciência e soluções técnicas que catalisaram este trabalho.

Desenvolvimento de um WebSIG para apoio à decisão na escolha de residência

RESUMO

A escolha de um local para viver é influenciada por vários fatores, relativos não só ao imóvel, mas também ao meio envolvente. Esta componente é frequentemente ignorada pelas páginas *web* especializadas em procura de casa. O projeto aqui apresentado propõe uma solução WebSIG para dar resposta a esta lacuna, usando ferramentas e dados disponíveis ao público gratuitamente.

A solução desenvolvida baseia-se em conceitos de análise multicritério e propõe um algoritmo original, adaptável a outras situações que facilita a pesquisa dos locais de acordo com as preferências do utilizador.

Development of a WebSIG to support the decision on the choice of residence

ABSTRACT

The choice of a place to live is influenced by several factors, relating not only to the property, but also to the surrounding environment. This component is often overlooked by specialized home-search web pages. This project proposes a WebGIS solution to address this gap, using available free tools and free data.

The solution developed is based on multicriteria analysis concepts and proposes an original algorithm, adaptable to other situations that facilitates the search of the sites, according to the preferences of the user.

PALAVRAS-CHAVE

Análise Multicritério

Aplicações de SIG

Código Aberto

Open Data

Modelação

Sistemas de Informação Geográfica

WebSIG

KEYWORDS

Multi-Criteria Evaluation

GIS Applications

Open Source

Open Data

Modulation

Geographic Information Systems

WebGIS

ACRÓNIMOS

API – *Application Programming Interface*

BD – Base de Dados

GEE – *Google Earth Engine*

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

HTML - *HyperText Markup Language*

HSL – *Hue Saturation Luminosity*

IAU – *Institut d'aménagement et d'Urbanisme*

INSPIRE - *Infrastructure for Spatial Information in Europe*

ISO – Organização Internacional de Normalização (*International Organisation for Standardization*)

ITDP – *Institute for Transportation and Development Policy*

JSON – *JavaScript Object Notation*

LBS – Serviço Baseado na Localização (*Location-Based Service*)

MCE – Análise Multicritério (*Multi-Criteria Evaluation*)

OGC – *Open Geospatial Consortium*

OGD – *Open Government Data*

OSD – *Open Source Definition*

OSGeo – *Open Source Geospatial Foundation*

OSI – *Open Source Initiative*

OSM – *Open Street Map*

REST – *Representational State Transfer*

SDI – *Spatial Data Infrastructure*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SGBD – Sistema Gestor de Bases de Dados

SQL – *Structured Query Language*

STIF – *Syndicat des Transports d’Ile-de-France*

W3C – *World Wide Web Consortium*

WFS – *Web Feature Service*

WMS – *Web Map Service*

XML – *eXtensible Markup Language*

ÍNDICE DO TEXTO

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
2. Revisão de Literatura	4
2.1. Soluções web para procura de residência	4
2.1.1. Os WebSIG como ferramenta de pesquisa	4
2.1.2. Dados abertos (open data).....	11
2.1.3. Código Aberto (open-source).....	14
2.1.4. Formatos abertos ou livres nos WebSIG.....	17
2.2. Os Sistemas de Informação Geográfica na Web.....	20
2.2.1. Soluções de código aberto ou gratuitas.....	21
2.2.2. Soluções Comerciais.....	23
2.3. Conceitos fundamentais	24
2.2.3. Álgebra de mapas.....	24
2.2.4. MCE	24
2.2.4. Mapa de aptidão	26
2.3. Conclusão	26
3. Metodologia	28
3.1 Dados.....	31
3.1.1. Categorização dos dados.....	31
3.1.2. Pré-processamento	31
3.2. Métodos	41
3.2.1. Modelo matemático.....	41
3.2.2. Arquitetura do WebSIG.....	44
3.2.3. Aplicação do WebSIG	47
4. Conclusões	53
4.1. Análise e discussão.....	54
4.2. Desenvolvimentos futuros	55
Bibliografia	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Características dos dados recolhidos	35
Tabela 2: valores atribuídos a cada critério	38
Tabela 3: Definição dos atributos da Base de Dados	40
Tabela 4: Distribuição dos valores das Áreas de Serviço	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização de Paris, França.....	2
Figura 2: Excerto da página web leboncoin para pesquisa de imobiliário, consultada em novembro de 2017	5
Figura 3: Exemplo de resultado de pesquisa de um imóvel no sitio PAP	7
Figura 4: Página do site da agência imobiliária Remax, consultado em outubro 2017	7
Figura 5: Opções da página web OLX para pesquisa de imobiliário, consultada em outubro 2017	8
Figura 6: API Google Maps no site Idealista onde o utilizador pode desenhar um polígono, consultado em outubro 2017.....	8
Figura 7: Página de pesquisa da plataforma Streetics	10
Figura 8: Página inicial do OSM.....	19
Figura 9: Editor do GEE	20
Figura 10: Publicação no QGIS Cloud free.....	21
Figura 11: Esquema funcionalidades do Geomajas (fonte: geomajas.org)	23
Figura 12: Esquema inicial do WebSIG.....	29
Figura 13: Esquema do pré-processamento, desde a recolha de dados à inserção na base de dados.....	32
Figura 14: Excerto da página de dados abertos «Open Data» da cidade de Paris, consultado em outubro 2017	33
Figura 15: Excerto da página de dados abertos do Ile-de-France Mobilité, consultado em outubro 2017	35
Figura 16: Modelação da Fase 1.....	39

Figura 17: Junção espacial de camadas	40
Figura 18: Etapas e serviços do pré-processamento	41
Figura 19: Esquema de WebSIG	44
Figura 20: Primeiro exemplo de perfil	50
Figura 21: Segundo exemplo de perfil	51
Figura 22: Terceiro exemplo de perfil	52

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Escolher um local para viver é geralmente uma das decisões mais importantes na vida de um indivíduo. Não existe no entanto um modelo definido para compreender o processo de escolha de casa, havendo fatores sociais e emocionais dificilmente quantificáveis (Koklic & Vida, 2006).

Existem várias possibilidades na *web* para encontrar uma casa a partir das suas características num determinado local, mas pouca informação organizada para definir critérios de interesse pessoal (Dowling, 2014). Alguns destes critérios são de natureza geográfica e perceptíveis num mapa, como, por exemplo, distância a serviços, pontos de interesse, parques e transportes públicos. Mas é difícil imaginar uma comparação ponderada de vários fatores em simultâneo sobre um espaço geográfico.

Assim, o interesse deste projeto é demonstrar uma possibilidade para criar uma aplicação de apoio à decisão do local de residência, a partir da importância dada pelo utilizador a diversos fatores que podem ser traduzidos espacialmente.

A aplicação deverá responder ao princípio base de um WebSIG: SIG que use tecnologia *web*, ou seja, que seja apresentado ao utilizador via um navegador, onde define um pedido que é enviado a um servidor e este envia uma resposta, apresentando um mapa de acordo com o pedido (Agrawal & Gupta, 2014).

Para o presente trabalho foi escolhida a cidade de Paris, região de île-de-France, em França, representada na Figura 1. O limite de Paris *intramuros* é marcado por uma avenida circular, a *Boulevard Périphérique*, sendo passada a Este pela *Bois de Vincennes* e a Oeste pela *Bois de Boulogne*, duas florestas não habitáveis, que elevam a área total da cidade a cerca de 100 km² para 2.2 milhões de habitantes, ou seja, em comparação com outras capitais, Paris é uma pequena metrópole densamente povoada (Base BIEN - Notaires de Paris - Ile de France, 2014).

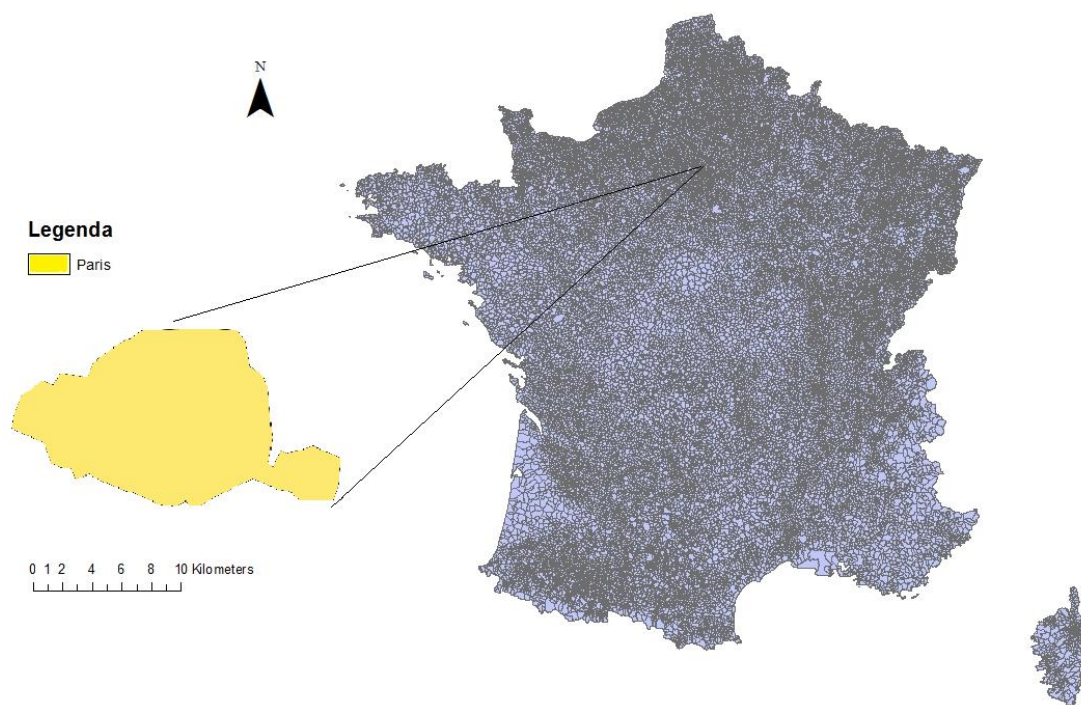


Figura 1: Localização de Paris, França

Segundo o IAU (*Institut d'aménagement et d'Urbanisme*), a maioria da população que procura casa em Paris são jovens, solteiros e diplomados. No entanto, devido aos limites da cidade já sobrepovoados, encontrar um local para viver pode ser desafiante. Segundo o mesmo organismo, o mercado imobiliário parisiense é o mais importante de França, segundo o modelo usado para prever as flutuações e tendências económicas do sector (Base BIEN - Notaires de Paris - Ile de France, 2014).

O modelo a ser desenvolvido neste trabalho deverá dar a possibilidade de escolher um grau de importância a alguns critérios pré-definidos, pretendendo interpretar as prioridades e as concessões do utilizador no domínio espacial.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é a criação de uma aplicação WebSIG, onde o utilizador pode definir a importância de alguns parâmetros para gerar um mapa de acordo com os critérios definidos. Para a criação desta ferramenta são usados princípios de modelação, em particular para a definição do modelo matemático utilizado e a

álgebra de mapas. Este problema é descrito como um modelo de avaliação multicritério (MCE) (Eastman, 1999). O MCE relaciona várias alternativas, comparando diversos atributos. Geralmente o resultado é influenciado de modo a que um melhor resultado para um critério esteja relacionado com um pior resultado para outro critério (Johnson, 2009). Contudo, uma parte importante deste trabalho consiste na manipulação das ferramentas SIG disponíveis atualmente assim como uma forte componente informática para relacioná-las.

Existem diversas possibilidades para a realização de um WebSIG. Neste trabalho pretende-se usar exclusivamente programas de código aberto e a dados acessíveis gratuitamente. Se os programas proprietários já incluem a possibilidade disponibilizar um SIG na *web*, ainda se verifica uma lacuna na existência de alternativas (Henriques, 2015).

Apesar do tema estar relacionado com a habitação, os métodos aqui apresentados podem ser usados para abordar outros temas de MCE num espaço geográfico. A exploração da interoperabilidade entre os diversos sistemas, bem como a demonstração do desenvolvimento das ferramentas gratuitas e de código aberto, são parte integrante do projeto proposto.

2. Revisão de Literatura

Este capítulo apresenta a pesquisa e a definição dos conceitos em que se baseia o trabalho realizado, de modo a explicar a pertinência do mesmo no contexto atual. Numa primeira parte apresenta as soluções atuais na *web* para a procura de casa, seja para compra ou para arrendamento, que usam mapas para divulgar e promover as opções existentes. De seguida, há uma descrição sobre a definição e a atualidade de dados abertos, bem como de programas de código aberto e as várias nuances possíveis.

Na segunda parte deste capítulo são apresentadas algumas ferramentas que podem ser usadas para a criação de SIG na *web*, categorizadas por soluções de código aberto ou comerciais.

Finalmente, na terceira parte, são apresentados os conceitos fundamentais que foram para a realização deste trabalho.

2.1. Soluções *web* para procura de residência

Para esclarecer a pertinência do projeto, é necessário conhecer algumas das opções disponíveis, bem como o papel dos formatos digitais, quer de dados, de formatos ou de programas.

2.1.1. Os WebSIG como ferramenta de pesquisa

Um SIG pode ser descrito como um sistema de gestão de dados que permite o acesso e a manipulação de dados espaciais, representados e analisados visualmente (Johnson, 2009). Com a democratização da *web*, os SIG têm evoluído dos programas desktop para aplicações na *web*, isto é, WebSIG (Heda & Chikurde, 2016). O baixo custo e a acessibilidade são fatores que levam à popularidade dos WebSIG. Estes

fatores podem ter maior importância se forem usados programas de código aberto (Agrawal & Gupta, 2014).

Segundo um estudo da empresa de consultoria *KPMG*, a procura de habitação não se restringe ao imóvel, mas também à proximidade a serviços e comodidades (Pyle, 2017). Contudo, se cada vez mais os serviços de arrendamento e venda de casas têm preocupação em mostrar as ofertas numa página na *web* com um mapa a localização e o máximo de características do imóvel, poucos oferecem dados sobre as características sociais e urbanas do local. A facilidade de implementação de um WebSIG podem torna-lo uma ferramenta viável para avaliar estes aspetos, apesar de, no presente, ainda não haver uma verdadeira componente SIG implementada.

Os próximos pontos mostram algumas das páginas relevantes seja em França ou em Portugal, que quem procura comprar residência pode consultar, onde é feita uma breve análise das componentes geográficas presentes.

- Leboncoin (<https://www.leboncoin.fr/>)

O Leboncoin é um *site* francês de vendas, aberto a empresas e a particulares, de todo o tipo de produtos divididos por categorias, e que inclui também procura e oferta de imobiliário. Para este caso, como mostra a Figura 2, o utilizador pode fazer uma pesquisa baseada na localidade ou na proximidade, limites mínimo e máximo de áreas, de preços e de divisões, e tipo de bem (casa, apartamento, terreno ou parque de estacionamento).

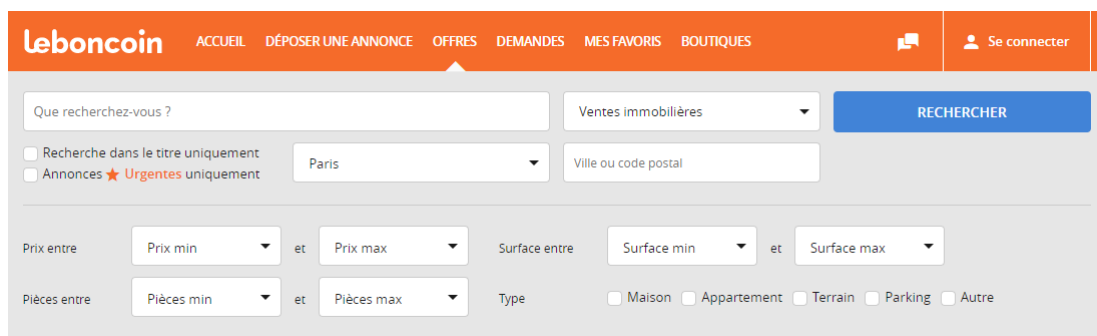
The image shows the search interface of the Leboncoin website. At the top, there is an orange navigation bar with the Leboncoin logo and links for ACCUEIL, DÉPOSER UNE ANNONCE, OFFRES, DEMANDES, MES FAVORIS, and BOUTIQUES. On the right of the bar is a 'Se connecter' button. Below the navigation bar, there is a search section. It starts with a text input field 'Que recherchez-vous ?' and a dropdown menu set to 'Ventes immobilières'. To the right of these is a blue 'RECHERCHER' button. Below the search bar, there are two checkboxes: 'Recherche dans le titre uniquement' and 'Annonces ★ Urgentes uniquement'. To the right of these is a dropdown menu set to 'Paris'. Below this, there is a 'Ville ou code postal' input field. Further down, there are two rows of filters. The first row has 'Prix entre' with 'Prix min' and 'Prix max' dropdowns, followed by 'et', then 'Surface entre' with 'Surface min' and 'Surface max' dropdowns. The second row has 'Pièces entre' with 'Pièces min' and 'Pièces max' dropdowns, followed by 'et', then 'Type' with radio buttons for 'Maison', 'Appartement', 'Terrain', 'Parking', and 'Autre'.

Figura 2: Excerto da página web leboncoin para pesquisa de imobiliário, consultada em novembro de 2017

Para efetuar a pesquisa por proximidade, a página é dotada de um LBS (Serviço Baseado na Localização), em que o equipamento usado determina o local de utilização via endereço IP (*Internet Protocol*) (Barnes & Lepinski, 2017), podendo o utilizador definir o raio de pesquisa.

Uma vez feita a pesquisa é apresentada uma lista de opções correspondentes. Ao seleccionar um item, abre-se uma página com uma descrição definida pelo vendedor e a possibilidade de obter um raio da localização do bem num mapa, representado com um símbolo num serviço Here (<https://www.here.com/>).

- PAP (<https://www.pap.fr/>)

A página PAP – *Particulier à Particulier* – propõe a compra, venda e arrendamento de imobiliário entre particulares. A pesquisa é iniciada com a escolha de uma ou várias localidades ou códigos postais, podendo o utilizador aceder a um menu de escolhas relativas às características físicas do imóvel. Se a pesquisa se restringir à região de Île-de-France, tem ainda a possibilidade de escolher qual a linha de comboio ou metro na proximidade. Cada imóvel tem uma página própria com a descrição, podendo ainda mostrar um mapa como na Figura 3, com o raio da zona onde se encontra, sobre a API (*Application Programming Interface*) Mappy, um serviço de cartografia digital francês especializado em cálculo de itinerários (Dachary & Mercat, 2017). A única opção suplementar é a possibilidade de mostrar as linhas e as estações de transporte ferroviário.

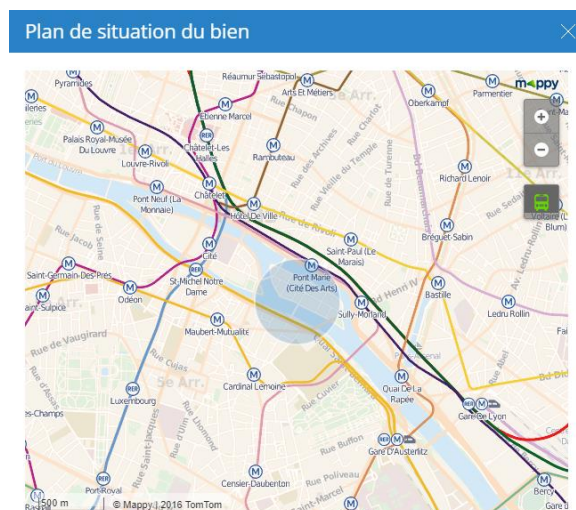


Figura 3: Exemplo de resultado de pesquisa de um imóvel no sitio PAP

- Remax (<http://www.remax.pt/>)

A Figura 4 mostra um exemplo da página web da agência imobiliária *Remax* em Portugal Continental, onde usa uma API *Google Maps* para ajudar o consumidor a localizar o bem, juntamente com uma de pesquisa de critérios, todos referente à localização ou às características física do imóvel.

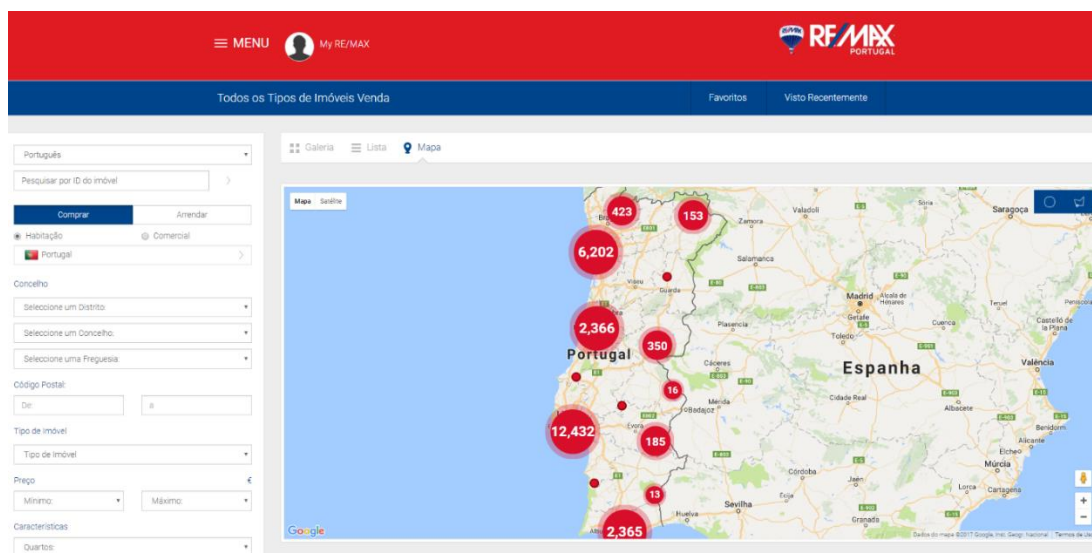


Figura 4: Página do site da agência imobiliária Remax, consultado em outubro 2017

- OLX (<https://www.olx.pt/>)

A página de anúncios classificados OLX propõe a venda e arrendamento de imóveis. A barra de pesquisa propõe a localidade ou proximidade usando o serviço LBS, o tipo de imóvel, a condição, um intervalo de preços e de áreas e alguns detalhes não geográficos relativos ao imóvel (Figura 5).

Figura 5: Opções da página web OLX para pesquisa de imobiliário, consultada em outubro 2017

- Idealista (<https://www.idealista.pt/>)

Além das características relativas aos bens disponíveis, o site Idealista oferece a uma ferramenta geográfica onde o utilizador pode limitar as pesquisas a um polígono definido por si (Figura 6).

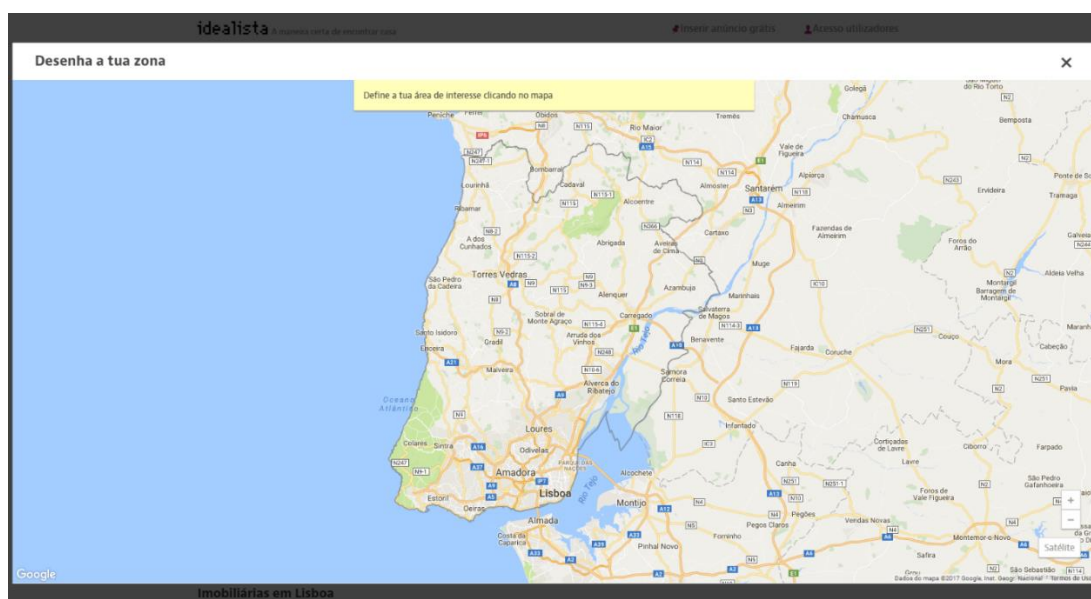


Figura 6: API Google Maps no site Idealista onde o utilizador pode desenhar um polígono, consultado em outubro 2017

Esta funcionalidade permite diferenciar-se da concorrência que, na maioria dos casos, só permite limitar as áreas de pesquisa aos limites administrativos. O utilizador pode assim restringir a área desenhando um polígono fechado sobre a API *Google Maps*, sem ter que lhe sejam apresentados todos os imóveis disponíveis de uma cidade ou localidade.

- Streetics (<http://www.streetics.com>)

O Streetics é um serviço que se aproxima do tema proposto neste trabalho. Segundo a descrição na página, “o Streetics é uma plataforma de avaliação das ruas. Com base em critérios fundamentais para a qualidade de vida, desde a centralidade ao ambiente, passando pelos espaços verdes até à rede de transportes, a nossa Missão é classificar todas as ruas de todas as cidades em todo o mundo.” (Streetic – Street Analytics, 2017). Na página de pesquisa, como mostra a Figura 7, é proposto um filtro para os critérios, podendo assim o utilizador definir as prioridades, de acordo com as classificações dadas.

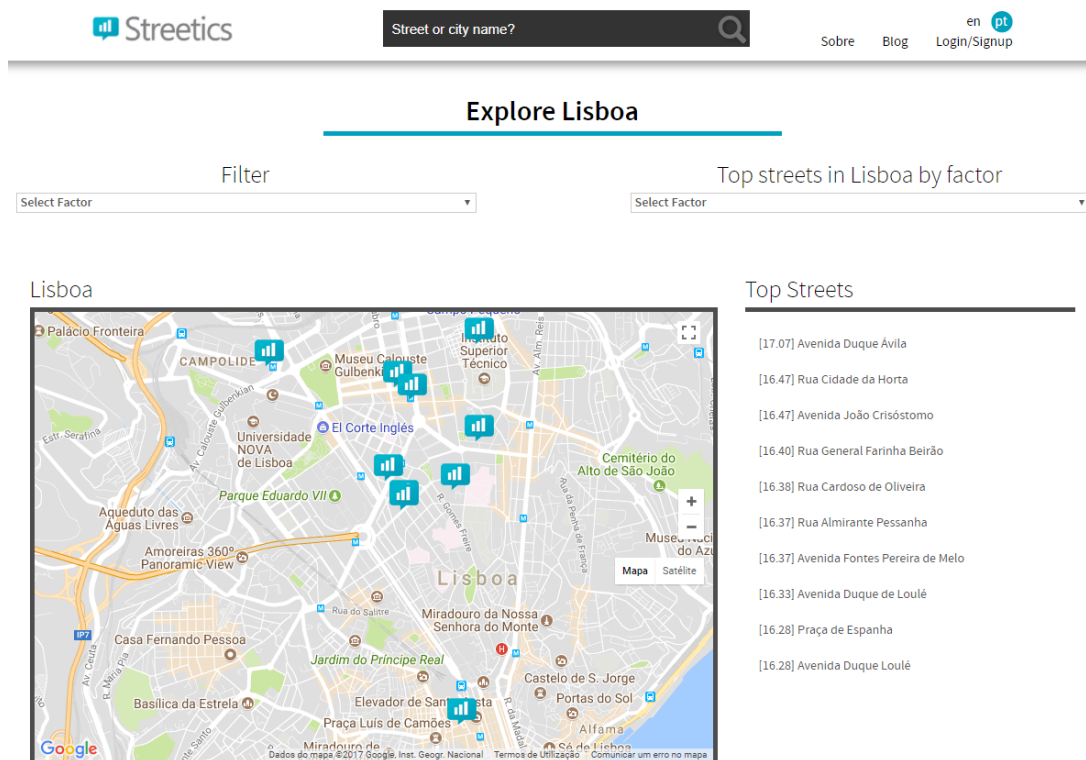


Figura 7: Página de pesquisa da plataforma Streetics

Este é um projeto colaborativo gratuito, onde qualquer pessoa pode adicionar uma nota, entre 0 e 20, a um conjunto de 12 características pré-definidas que são consideradas relevantes para avaliar a qualidade de vida numa rua. No final é calculada a nota da rua e comparada com as restantes.

A página recorre à API *Google Maps* para mostrar os resultados, mostrando a localização das ruas com uma marca que, quando selecionada, abre a opção *Google Street View* desse local. Este é um serviço que pretende ajudar à escolha de local para procurar casa (Streetic – Street Analytics, 2017), podendo ainda ser usado para comparar o nível de qualidade de vida de cada cidade.

2.1.2. Dados abertos (*open data*)

Por definição, “Dados abertos (ou *open data*) refere-se a informação que pode ser usada livremente, modificada e partilhada por qualquer pessoa para qualquer fim” (Carrara, Chan, Fischer, & Steenbergen, 2015).

A publicação livre de dados permite o desenvolvimento de ideias por um grande número de pessoas, e funciona também como mecanismo de controlo de qualidade (International Council for Science, InterAcademy Partnership, International Social Science Council, & World Academy of Science, 2015).

A fim de explorar todo o seu potencial, os dados abertos devem responder a certas características definidas em 2007 por um grupo de trabalho internacional independente: o OGD (*Open Government Data*). Estes 8 princípios definidos originalmente para os dados abertos de origem pública (Estado, administração, coletividades locais...) são geralmente usados para todos os tipos de dados abertos qual seja a fonte, pública ou privada (Bluenove, 2011).

Características essenciais dos dados abertos

Segundo a OGD (Carrara et al., 2015), os dados abertos devem ser:

1. **Completos:** cada conjunto de dados deve comportar os dados disponíveis à exceção dos dados sujeitos a limitações relativas à vida privada, segurança ou privilégios de acesso.
2. **Primários:** os dados abertos são dados brutos, recolhidos diretamente da fonte, tão detalhado quanto possível e sem tratamento nem modificações.
3. **Oportunos:** os dados devem estar disponíveis o mais atualizados possível
4. **Acessíveis:** os dados devem ser acessíveis ao maior numero de pessoas possível

5. **Exploráveis:** ou seja, prontos a ser tratados por ferramentas informáticas
6. **Não discriminatórios:** acessíveis sem inscrição
7. **Não proprietários:** disponíveis em formatos abertos
8. **Livres de direitos:** sem direitos de autor, patentes, marcas registadas ou regulação secreta, sendo salvaguardas restrições de privacidade e segurança

Conscientes do valor do *Open Data*, desde 2003 a Comissão Europeia tem aprovado diretivas no sentido em que os países da União Europeia publiquem dados livremente para uso público, apoiando-se em estudos que revelam os benefícios em transparência, desenvolvimento e progressão económica (Carrara et al., 2015).

Existem diversos organismos e vários tipos de licenças para a distribuição de dados, com mais ou menos liberdades e restrições, que são redigidas para cada caso em particular.

No âmbito deste trabalho foram usadas três tipos de licenças de dados, que podem ser resumidas do seguinte modo (STIF, 2016):

Licença Creative Commons

Esta licença dá a liberdade de copiar, distribuir e comunicar o material sob todos os meios e formatos, segundo as seguintes condições:

- Respeitar a menção da fonte
- Não ser usado para fins comerciais
- Não ser modificado

Esta licença é usada sobretudo para o formato gráfico e apresentação de mapas.

Licença ODbL

A licença ODbL possui várias versões. No caso dos dados aqui apresentados a versão adotada é a francesa, que dá a liberdade de:

- Partilhar, copiar, distribuir e utilizar a base de dados
- Criar e produzir novos conteúdos a partir da base de dados
- Adaptar, modificar, transformar e construir a partir da base de dados

Esta licença é usada na maioria dos dados distribuídos por organismos privados em França

Licença Etalab

Esta licença foi criada para favorecer a distribuição de dados no enquadramento governamental. Visa a facilitar e encorajar a reutilização de dados públicos e disponibilizá-los gratuitamente. Esta licença:

- Permite a reprodução, distribuição, adaptação e exploração comercial dos dados
- Faz parte de um contexto internacional, sendo compatível com os padrões das licenças *Open Data* desenvolvidos noutros países, nomeadamente no Reino Unido (OGL).
- Obriga a respeitar menção da fonte

INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information in Europe

Um dos principais exemplos recentes, a nível europeu, que promove a partilha de dados de forma aberta, é a diretiva INSPIRE, que pretende estruturar e definir normas comuns a todos os países da União Europeia para a partilha de dados geográficos (Halbout, 2014).

A diretiva INSPIRE impõe algumas obrigações, sobretudo técnicas, no que diz respeito ao acesso ou distribuição de dados. Estes devem estar disponíveis para consulta e acessíveis por via eletrónica, ou seja, a partir da *web* (Bredel & Dürr, 2009).

Esta diretiva pretende dar acesso a qualquer pessoa ou organismo, de qualquer país, estudar os dados relativos à comunidade europeia em conjunto, bem como promover a cooperação entre regiões para a partilha de conhecimento.

2.1.3. Código Aberto (*open-source*)

Os programas de código aberto são geralmente concebidos a partir de arquiteturas abertas e evolutivas, pois respeitam os padrões definidos por organismos independentes como o W3C (*World Wide Web Consortium*) – consórcio que emite recomendações para publicação na *web* – ou o ISO – organização internacional de normalização. A maioria dos programas cartográficos de código aberto respeitam os padrões da OGC (*Open Geospatial Consortium*) (Plumejeaud, 2005).

O termo “código aberto” (também conhecido por *open-source*) é por vezes generalizado para designar todos os programas adquiridos gratuitamente. Contudo, deve-se precisar a definição.

Programas em código aberto podem ser resumidos, como programas distribuídos sob uma licença que permite a partilha, visualização e modificação do código-fonte por outros utilizadores (Jackson, 2011). Existem vários tipos de licenças que oferecem diferentes graus de liberdade, inclusivamente podem ser adicionadas funcionalidades de código proprietário.

Como o código-fonte é partilhado, as comunidades que apoiam programas de código aberto promovem o desenvolvimento, correção de erros e alterações por parte dos utilizadores, torna-se assim num sistema em constante evolução e autocorretor.

A OSI (*Open Source Initiative*) é reconhecida como sendo a autoridade que certifica se uma licença pode ser realmente de código aberto (Burr & Barrows, 2012). De

modo a desenvolver as comunidades e o desenvolvimento, várias empresas estão associadas à OSI, nomeadamente a Google, Facebook, IBM e a Microsoft.

A OSI verifica se um programa corresponde à definição OSD (*Open Source Definition*), da qual é responsável, escrita nos seguintes pontos (<https://opensource.org/osd>):

- 1- **Distribuição gratuita:** a licença não pode restringir a venda ou a doação do programa como parte de outras distribuições de outras fontes. A licença não pode requerer uma cota de uma venda.
- 2- **Código-fonte:** o programa tem que incluir o código-fonte, e tem igualmente que permitir a distribuição em código-fonte sob forma compilada. Se o produto não for distribuído diretamente com o código, deve ser explícito o modo de adquiri-lo, preferencialmente descarregando via *internet* sem cargos adicionais. O código-fonte deve ser a forma em que um programador pode modificar o programa. Código deliberadamente pouco claro não é permitido, nem formas intermediárias para decodificar o código.
- 3- **Trabalhos derivados:** a licença deve permitir modificações e trabalhos derivados, e deve permitir-lhes a distribuição sob os mesmos termos que o programa original.
- 4- **Integridade do autor do código-fonte:** a licença pode restringir o código-fonte de ser distribuído de forma modificada se e só se a licença permitir a distribuição de “arquivos de *patch*” com o código fonte com o propósito de modificar o programa na construção. A licença deve permitir explicitamente a distribuição de programas construídos de código modificado. A licença pode requerer que trabalhos derivados tenham um nome ou versão diferente do programa original.
- 5- **Não discriminação de pessoas ou grupos:** a licença não pode discriminar qualquer pessoa ou grupo de pessoas.

- 6- **Não discriminação de crenças ou ideias:** a licença não pode restringir ninguém de usar o programa para uma crença ou ideia específica. Por exemplo, não pode ser restringido o uso do programa em qualquer atividade ligada à pesquisa de genética.
- 7- **Distribuição da licença:** os direitos ligados ao programa devem aplicar-se a todos os que o distribuem, sem ser necessário uma licença adicional.
- 8- **A licença não deve ser específica a um produto:** os direitos do programa não podem depender se fizerem parte de uma distribuição em particular. Se o programa for extraído de uma distribuição e usado ou distribuído dentro dos termos da licença, todas as partes a quem o programa é redistribuído devem ter os mesmos direitos que aqueles a quem foi garantida a distribuição original do programa.
- 9- **A licença não pode restringir outros programas:** a licença não deve colocar qualquer restrição sobre qualquer outro programa. Por exemplo, a licença não deve exigir que todos os outros programas distribuídos numa mesma plataforma sejam de código aberto.
- 10- **A licença deve ser tecnologicamente neutra:** nenhuma provisão da licença pode ser predicada a nenhuma tecnologia em particular.

Importa ainda definir ainda outros termos que podem ser confundidos com programas de código aberto:

Freeware: O termo *freeware* é usado para designar os programas que podem ser usados com todas as funcionalidades gratuitamente, por tempo ilimitado.

Shareware: Programas que permitem ao utilizador testar as algumas funcionalidades antes de comprá-lo. Estes programas não podem ser modificados pelo utilizador, sendo sujeitos a possíveis bloqueios ou mesmo desativados.

Trialware: programas que permitem a utilização durante um período de tempo ou por um número limitado de vezes.

2.1.4. Formatos abertos ou livres nos WebSIG

Existem diversas opções para cada etapa na criação de um WebSIG. Assim, neste capítulo são apresentadas ferramentas exclusivas usadas para desenvolvimento e divulgação de informação georreferenciada na *web*, que beneficiam de sistemas e formatos de elementos comuns, nomeadamente de padrões-abertos.

Os padrões-abertos podem ser definidos como padrões que:

- Resultam e são mantidos por um processo aberto e independente;
- São aprovados por uma especificação reconhecida ou organização responsável, por exemplo o W3C ou ISO ou equivalente;
- São documentados e disponibilizados a custo zero;
- Podem ser implementados e partilhados sob diferentes abordagens de desenvolvimento e em diferentes plataformas.

Para responder à necessidade de criar comunidades que possam colaborar em conjunto de forma livre, existem organizações para definirem padrões de formatos de partilha de informação geoespacial (Bruce & Eng, 2007), entre as quais se destacam:

- *OSGeo - Open Source Geospatial Foundation*

É uma organização não governamental que promove o desenvolvimento colaborativo de tecnologias geoespaciais, dando apoio legal e financeiro a

projetos de código aberto, assim como a padrões abertos - *Open Standards* (Horning, 2016). Alguns dos projetos pertencentes à OSGeo foram usados para a realização deste trabalho, como o QGIS, o PostGIS e o GeoServer.

- OGC

Fundada em 1994, é um organismo que se responsabiliza por definir padrões abertos para a publicação de dados geoespaciais na *web*, seja por exemplo para ficheiros – *.kml – ou serviços web – WMS (*Web Map Service*) (François, 2015).

Dois exemplos de projetos colaborativos que não só beneficiam das normas definidas, como ajudam a desenvolver novos padrões, são apresentados de seguida.

OSM – *Open Street Map* (<https://www.openstreetmap.org/>)

O OSM, apresentado na Figura 8, é uma base de dados georreferenciados livre, ou seja, de dados abertos, onde, mediante um registo, qualquer pessoa pode participar. Os dados podem ser inseridos ou modificados por exemplo, a partir de análise de satélite ou do registo a partir de um recetor GNSS (*Global Navigation Satellite System*), desde que não sejam de fonte proprietária (Resende, 2016). Os dados importados podem ser pontos, para localizar pontos de interesse, linhas para estradas ou polígonos para áreas de ocupação de terreno.

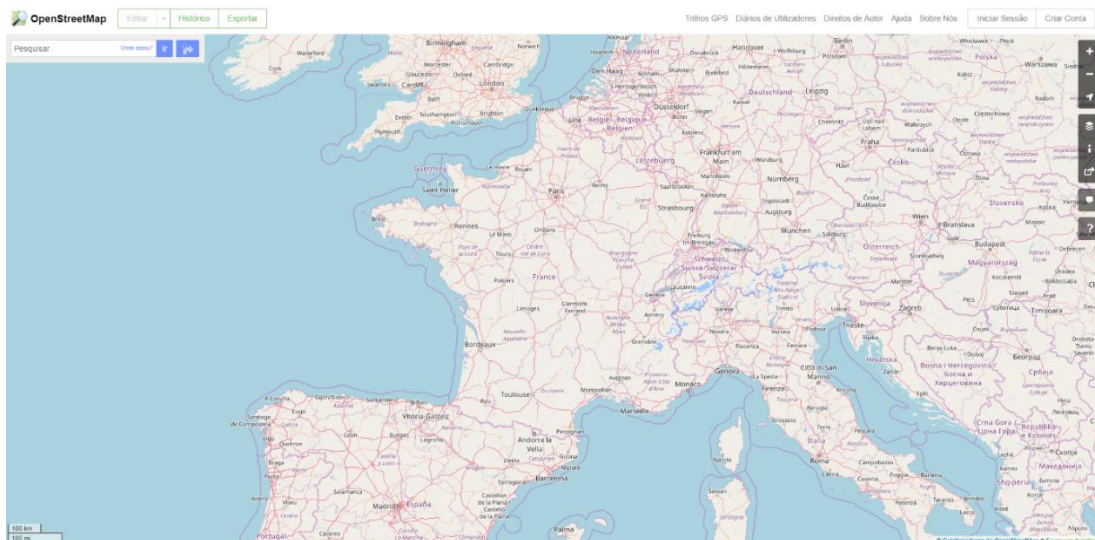


Figura 8: Página inicial do OSM

O OSM tem uma API disponível, com possibilidade de escolher as camadas e *queries* sobre o conteúdo mostrado (Quest, 2014).

GEE – *Google Earth Engine* (<https://earthengine.google.com/>)

O GEE é uma ferramenta *web* para análise geoespacial. Ela permite a realização de estudos recorrendo a uma base de dados públicos, incluindo imagens dos satélites *Landsat* e *Sentinel-2*, assim como de bibliotecas de funções e algoritmos programáveis em *JavaScript* ou *Python*.

O utilizador pode usar os próprios dados, incluindo imagens Raster ou informação vetorial, programar algoritmos e configurações, e visualizar os resultados em gráficos ou sobre o mapa *Google Maps*. A gestão das tabelas é feita no serviço *Google Fusion Tables*, que permite a criação e edição de uma base de dados geográfica. Neste caso, o utilizador pode ainda publicar os mapas resultantes no *Google Sites*, sem, no entanto, poder alterá-los.

O GEE promove ainda a partilha de conteúdos, dados e algoritmos entre a comunidade, dispondo de um grupo onde todos os utilizadores podem comentar, fazer propostas ou apresentar questões (Gorelick et al., 2016).

A Figura 9 mostra o editor do GEE aplicado a este trabalho. Foram carregados os dados relativos ao pré-processamento e programada a interação em *JavaScript*. Apesar do desenvolvimento desta aplicação, ainda não é possível integrar o resultado numa página *web*, podendo ser partilhada via um endereço criado automaticamente, estando a visualização restringida a utilizadores do GEE (Gorelick et al., 2017).

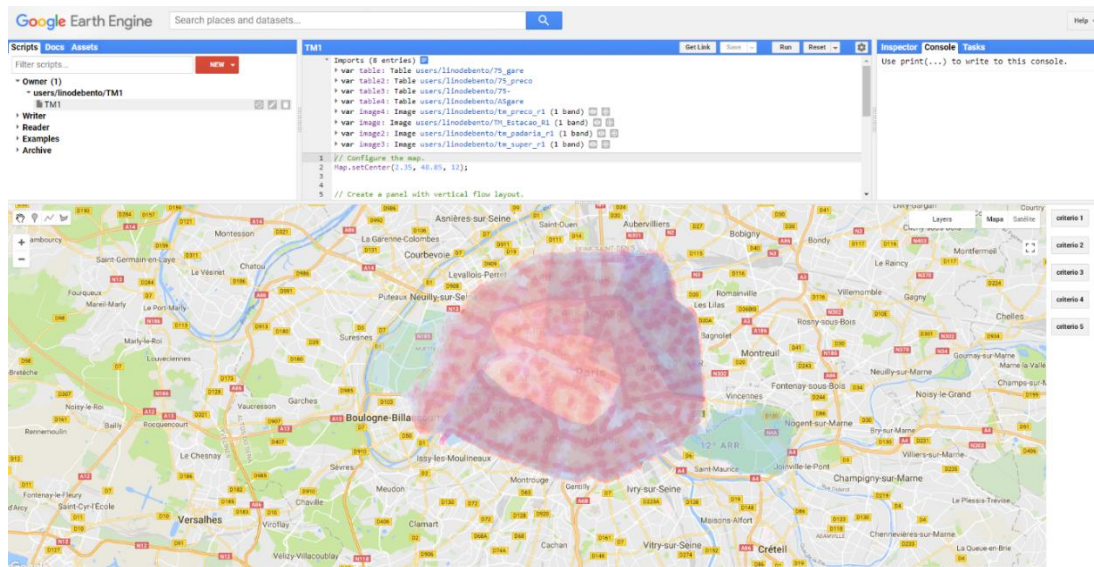


Figura 9: Editor do GEE

2.2. Os Sistemas de Informação Geográfica na Web

Os primeiros mapas interativos na *web* datam de 2004, onde era possível fazer algumas consultas simples, como mostrar mapas pré-configurados alojados num servidor, que eram selecionados consoante um pedido do utilizador (Jégou, 2014).

Este tipo de serviço ainda é usado, mas hoje já existem soluções que se complementam e que permitem uma resposta mais adequada do sistema. Com a evolução dos navegadores *web* e em particular da norma HTML5 (*HyperText Markup Language*), passou a ser possível integrar aplicações, geralmente programadas em *JavaScript*, como, por exemplo as API Google ou OSM. Contudo não existe uma solução ideal para a construção de um WebSIG, mas sim diversas soluções propostas para cada um dos componentes.

2.2.1. Soluções de código aberto ou gratuitas

- QGIS Cloud (<https://qgiscloud.com/>)

O *QGIS Cloud* é um SDI (*Spatial Data Infrastructure*) que permite a publicação de mapas diretamente na *web* a partir do plugin do programa QGIS gerando um link que pode ser compartilhado, dando acesso ao mapa desenvolvido no programa, com a opção de aparecer sobre uma carta *Google Maps* ou OSM. Existe em modo gratuito (*Free*), com limitação de tamanho de base de dados e restrição de edição online, ou um plano pago, com limitação dez vezes superior ao plano gratuito e sem restrições à edição. Na Figura 10 está representado uma publicação no *QGIS Cloud Free*.

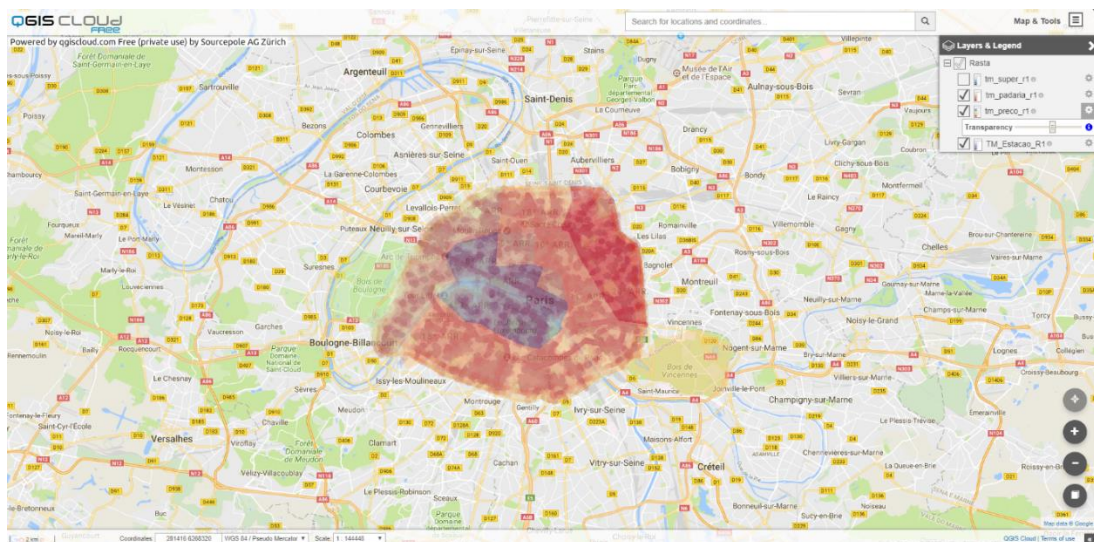


Figura 10: Publicação no QGIS Cloud free

A principal vantagem desta solução é não precisar de configurar o servidor nem a base de dados: o mapa é publicado tal como aparece no QGIS, havendo ainda a possibilidade de fazer algumas operações no site como consultar a legenda, zoom ou consultar informações de um polígono.

- Lizard (https://www.lizard.com/)

Esta aplicação permite a criação de mapas a partir do plugin para o QGIS, sendo possível acrescentar um conjunto de ferramentas à visualização, como zoom e seleção de camadas.

- Leaflet (http://leafletjs.com/) e OpenLayers (https://openlayers.org/)

São bibliotecas *JavaScript* de código aberto que permitem preparar mapas interativos formatados para a publicação na *web*.

- MapServer (http://mapserver.org/) e GeoServer (http://geoserver.org/)

O *MapServer* e o *GeoServer* são servidores que permitem ao cliente ver e editar dados georreferenciados na *web*. O *MapServer* foi desenvolvido nos anos 1990, em linguagem C, e é um dos projetos fundadores do OSGeo. Já o *GeoServer* foi programado em *Java* já tendo em conta os padrões da OGC para aplicações na *web*.

- Geomajas (http://www.geomajas.org/)

Geomajas é uma coleção de bibliotecas, ferramentas e API livres e de código aberto para criar um mapa na *web*, oferecendo soluções nas relações entre cliente e servidor, permitindo a comunicação entre eles. A Figura 11 mostra um esquema para o desenvolvimento de um WebSIG e as relações que esta biblioteca facilita.

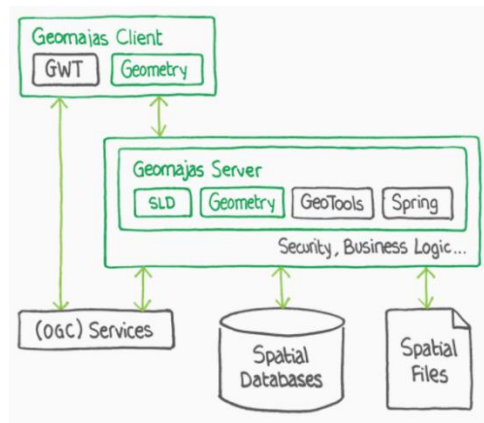


Figura 11: Esquema funcionalidades do Geomajas (fonte: geomajas.org)

2.2.2. Soluções Comerciais

- ArcGIS Server (<http://server.arcgis.com/>)

É a solução completa proposta pela empresa ESRI, que permite a interação com vários produtos das ESRI bem como com outras ferramentas proprietárias e de código aberto, tal como para os padrões definidos pela OGC. Existem três níveis de licença, que pode dar acesso apenas ao *ArcGIS Server Cloud* para publicar diretamente mapas na *web* para qualquer plataforma, ou uma solução empresarial que pode ser instalada em servidores próprios.

- GISCloud (<http://www.giscloud.com/>)

É uma aplicação SIG que funciona via *web*, desenvolvida em flash, e que permite visualizar, criar e editar dados geográficos, assim como compartilhar e publicar mapas na *cloud*.

2.3. Conceitos fundamentais

2.2.3. Álgebra de mapas

O princípio da álgebra de mapas foi formalmente descrito por Tomlin no livro *“Geographic Information System and Cartographic Modeling”*. Segundo Tomlin, álgebra de mapas consiste “num conjunto de convenções, ferramentas e técnicas para a análise de dados cartográficos digitais. Estes produzem mapas que associam a cada local de uma dada área de estudo um valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) ou qualitativo (nominal)” (Tomlin, 1990). Segundo o mesmo autor, ao serem atribuídas variáveis numéricas que representam características geográficas, é possível processar essas características com funções matemáticas (Tomlin, 1994).

Em álgebra de mapas a representação em formato matricial é mais comum, no entanto nada impede que outros formatos, como vetorial, sejam também explorados (Cordeiro, Barbosa, & Câmara, 2001).

2.2.4. MCE

A atribuição de variáveis por parte do utilizador, que definem o peso de cada atributo, é caracterizado como avaliação MCE. Nos SIG, a MCE permite a agregação de inúmeras variáveis sendo recomendada para decisões complexas. Os modelos baseados em MCE são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação, sendo usado em várias áreas como apoio à decisão (Pinto, Caneparo, & Passos, 2014).

A análise multicritério pode ser definida como “uma ferramenta matemática que permite a comparação de diferentes alternativas ou cenários de acordo com vários critérios, muitas vezes em conflito, de modo a definir as escolhas mais judiciosas” (Roy, 1996). Em SIG, os métodos de análise multicritério são geralmente divididos entre discretos ou contínuos. Nos métodos discretos existe um número limite de

alternativas, enquanto nos métodos contínuos o número de resultados possíveis tende ou pode ser infinito (Chakhar & Mousseau, 2007).

Assim, os métodos discretos podem ser modelados a partir da representação vetorial de dados, à qual são adicionadas restrições, aqui definidas sob forma de pesos a cada critério pré-definido.

A análise multicritério tem sido usada no domínio espacial para estudar situações onde vários fatores interagem em simultâneo, para definir possibilidades das melhores localizações. Seguem alguns exemplos que se podem estar relacionados com o teor da presente proposta:

Construções sustentáveis

No artigo *“Multi-criteria evaluation of building sustainability behavior”* (Drejeris & Kavolynas, 2014), o MCE é usado para apresentar uma metodologia para eventuais compradores avaliarem a sustentabilidade de edifícios, baseando-se em onze critérios dados como influenciadores, com significância pré-definida para cada um deles. Este artigo pretende desenvolver um algoritmo que funciona não numa escala absoluta, mas antes compara a sustentabilidade entre vários edifícios.

Transportes públicos

Para avaliar e comparar as vantagens e desvantagens de apanhar um determinado meio de transporte, sobretudo nos transbordos de passageiros, o artigo *“Multi-criteria evaluation of public transport interchanges”* (Bryniarska & Zakowska, 2017) propõe um método que tem em conta várias variáveis, desde a distância entre as paragens de dois transportes, até à qualidade das infraestruturas e informação aos utentes. O MCE é usado deste modo para quantificar aspetos qualitativos, e comparar todo o conjunto, classificando três estações que oferecem o mesmo tipo de transbordo numa cidade.

Estradas

O estudo *“Road safety analysis using multi criteria approach : A case study in India”* (Kanuganti et al., 2017) usa o MCE para definir a uma ordem a um conjunto de estradas, avaliando com uma nota cada um de um conjunto de parâmetros relativos às características físicas da estrada, desde visibilidade nas curvas ao estado do piso. Também neste algoritmo foi usado um peso para cada característica, definido por um valor dado por percepção humana.

2.2.4. Mapa de aptidão

O resultado é uma camada que representa um mapa subjetivo associado a entidades geográficas, e relações entre essas entidades, calculado num intervalo de valores e mostrado numa escala de cores. Este tipo de representação é designado mapa de aptidão. Cada porção da Terra tem um conjunto diferente de características que a tornam mais conveniente a determinado uso que outras, ou seja, cada lugar é a soma de processos e estes processos constituem valores sociais (Macdonald, 2006). Este tipo de representação é uma das aplicações mais úteis em SIG (Sistema de Informação Geográfica), usado em várias áreas como fauna, flora, agricultura, avaliação de terrenos, planeamento, impacto ambiental ou apoio à decisão para decidir onde construir instalações públicas ou privadas (Malczewski, 2004).

2.3. Conclusão

A pesquisa efetuada permitiu verificar que, atualmente, as páginas disponíveis na *web* para a procura de casa focam-se sobretudo no aspeto físico do imóvel e não tanto no local ou na vizinhança. Esta limitação justifica a pertinência do trabalho apresentado. Apesar dos SIG ainda serem pouco desenvolvidos neste tema, durante a pesquisa foi notável também a diferença entre os serviços disponibilizados, entre França e Portugal, no domínio da informação geográfica, sendo no caso de primeiro usado de forma secundária, enquanto que em Portugal se observa mais opções nos mapas apresentados, ou seja, são ferramentas mais ativas na procura de casa.

A escolha de dados abertos e de programas de código aberto ou livres vem de encontro a uma tendência de partilha de conhecimento e transparência, assim como para explorar as alternativas disponíveis sem custo, a sua evolução e importância no desenvolvimento dos SIG na *web*.

É também possível constatar que as soluções livres são construídas por módulos alternativos com a possibilidade de interagirem entre si, mas cada um com uma especialidade definida para um fim. Isto implica ao utilizador dominar as opções disponíveis e geralmente muita pesquisa para conseguir resolver um problema. As soluções comerciais por seu lado, oferecem pacotes completos entre os programas, bases de dados e servidores, facilitando a publicação de um SIG pelo utilizador comum, facilitando as configurações de servidores e bases de dados.

3. Metodologia

Neste capítulo apresenta-se a metodologia que foi aplicada para a realização do WebSIG, apresentando também os conceitos e os desenvolvimentos matemáticos que foram aplicados na programação.

Para criar um WebSIG o primeiro passo é ter dados SIG, alojá-los e finalmente definir como publicar um mapa criado a partir desses dados (Heda & Chikurde, 2016). Assim, pode definir-se 3 componentes principais: um programa para criação ou tratamento de dados, um SGBD e um serviço para publicar a informação geográfica.

A organização do trabalho começa com um estudo sobre as ferramentas gratuitas disponíveis para as diferentes fases e as suas capacidades, bem como a pesquisa de fontes de dados. A partir desta primeira pesquisa foi formado um esquema de execução onde são especificadas as possibilidades para a execução do projeto.

Uma vez definidas as hipóteses a considerar e definidos os dados a usar, é realizada um pré-processamento que consiste na filtragem e no tratamento dos dados, em avaliá-los, definir um *datum* e um sistema de projeção comuns, e em preparar os elementos que serão usados na base de dados.

Para a realização do pré-processamento é usado o programa *QGIS*, não só por ser de código aberto, mas também porque permite a programação de módulos, que podem ser encontrados nas comunidades de utilizadores ou criados diretamente em *Python*.

Para o desenvolvimento do sistema são usadas diversas ferramentas de programação, nomeadamente em linguagem HTML (*HyperText Markup Language*) e *javascript*, para a criação da página *web* que serve de interface e comunicação com o servidor *Apache*. Este servidor comunica com uma base de dados *PostgreSQL* para manipular os dados pretendidos, assim como com o *GeoServer* para definir o mapa final. O resultado será um mapa colorido numa escala, de acordo com as opções seleccionadas, que pode ser consultado a partir de uma página *web*.

O esquema inicial do processo está ilustrado na Figura 12.

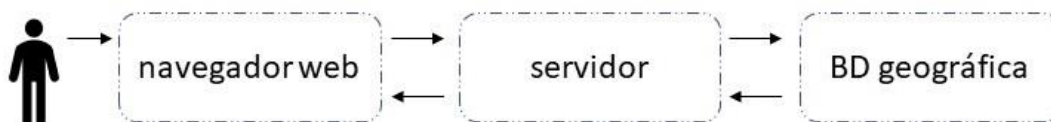


Figura 12: Esquema inicial do WebSIG

O WebSIG é constituído por três elementos fundamentais: um cliente ou navegador *web*, que serve de interface com o utilizador, um servidor *web*, que comunica com o terceiro elemento, a base de dados espacial. Este último elemento devolve uma resposta ao servidor, que envia ao navegador um mapa de acordo com as escolhas iniciais.

A construção do sistema proposto implica, porém, uma análise às plataformas existentes e a análise das ferramentas disponíveis para cada etapa.

Escolha dos critérios

Apesar dos critérios terem sido escolhidos para exemplificar uma metodologia, a seleção pretende representar uma situação real. Assim, foram escolhidos:

- **Transportes:** Segundo o ITDP (*Institute for Transportation and Development Policy*) a mobilidade de uma cidade deve ser medida consoante a acessibilidade ou proximidade aos transportes públicos (Marks, 2016). Tendo em conta que a maioria dos residentes de Paris privilegia o metro ou o comboio como modo de transporte público principal (Omnil, 2013), a proximidade ao acesso a esta rede é um fator a ter em conta na escolha de habitação principal.
- **Padarias:** As padarias são o comércio de proximidade mais relevante para os franceses, estimando-se que dois terços das famílias frequentam em média uma padaria três a quatro vezes por semana (APCE, 2007). É assim plausível que haja uma preferência para minimizar o tempo destas estas deslocações.
- **Supermercados:** neste trabalho considera-se um supermercado qualquer estabelecimento de venda de produtos alimentares (que não restaurantes), independentemente do seu tamanho. Desde o ano 2000 tem-se vindo a

verificar um aumento do número de supermercados de modo a aproximar-se dos habitantes. As tendências sociodemográficas podem explicar este fenómeno, seja pelo envelhecimento da população, pela mudança de estilo de vida urbana, onde o consumidor cada vez mais reduz o tempo dedicado a fazer compras de uso diário, bem como uma procura de produtos cada vez mais frescos (Arnaud, 2013).

- **Preço:** segundo um estudo publicado no *Journal of Economics and Behavioral Studies* em 2015, o preço de um imóvel é a principal razão para comprar ou não um imóvel ou propriedade (Anastasia & Suwitro, 2015).

Escolha das ferramentas e dos dados

A escolha das ferramentas usadas, ou seja, as plataformas e programas, bem como os dados, teve como principal motivação demonstrar um processo para produzir conteúdos e partilhar informação sem usar meios reservados exclusivamente a especialistas ou programas proprietários. Esta decisão vem de encontro às potencialidades que a tecnologia proporciona atualmente, em que cada pessoa é uma fonte potencial de dados geográficos ou, como definiu, Goodchild “*citizens as voluntary sensors*” (Goodchild, 2007), assim como as emergentes regras de transparência que promovem a distribuição e acesso aos dados, e a difusão de comunidades virtuais com vontade de produzir informação geográfica.

Esta conjuntura permite o crescimento da produção de informação voluntariamente, que privilegia o uso de programas gratuitos ou de código aberto, possibilitando assim aos utilizadores criar exatamente o que pretendem, em vez de ficarem restringidos às soluções oferecidas por um programa proprietário (Oloo & Krapf, 2015).

3.1 Dados

Neste capítulo pretende-se fazer uma análise sobre os dados recolhidos para a realização do projeto, a proveniência e o tratamento a que foram sujeitos até serem carregados na base de dados.

3.1.1. Categorização dos dados

Todos os dados apresentados foram descarregados da *web*, disponibilizados livremente pelos organismos responsáveis. Estes dados podem ser divididos em duas categorias:

- **Dados vetoriais:** são elementos gráficos representados por coordenadas, constituídos por pontos, linhas ou polígonos. Estes elementos podem ser guardados em ficheiros, tendo associados uma tabela de atributos com dados alfanuméricos (Lachiche, 2013).

Fazem parte deste grupo os ficheiros com os limites administrativos de Paris, a rede de estradas, os pontos de interesse e estações de metro ou ferroviárias.

- **Dados alfanuméricos:** são os dados qualitativos e quantitativos que podem ser associados a objetos geográficos (Lachiche, 2013).

Como dados alfanuméricos usou-se a tabela de preços médios de habitação, por cada freguesia de Paris.

3.1.2. Pré-processamento

O pré-processamento consiste no tratamento dos dados para que possam ser usados em conjunto e incluídos no SGBD. A Figura 13 descreve as ações desta etapa, desde a recolha dos dados até à inserção no SGBD.

Este processo foi dividido em 3 partes, começando na recolha dos dados das respetivas fontes, passando para a Fase 1 que consiste na seleção, preparação e tratamento dos dados para serem integradas no SGBD, que será chamada de Fase 2.

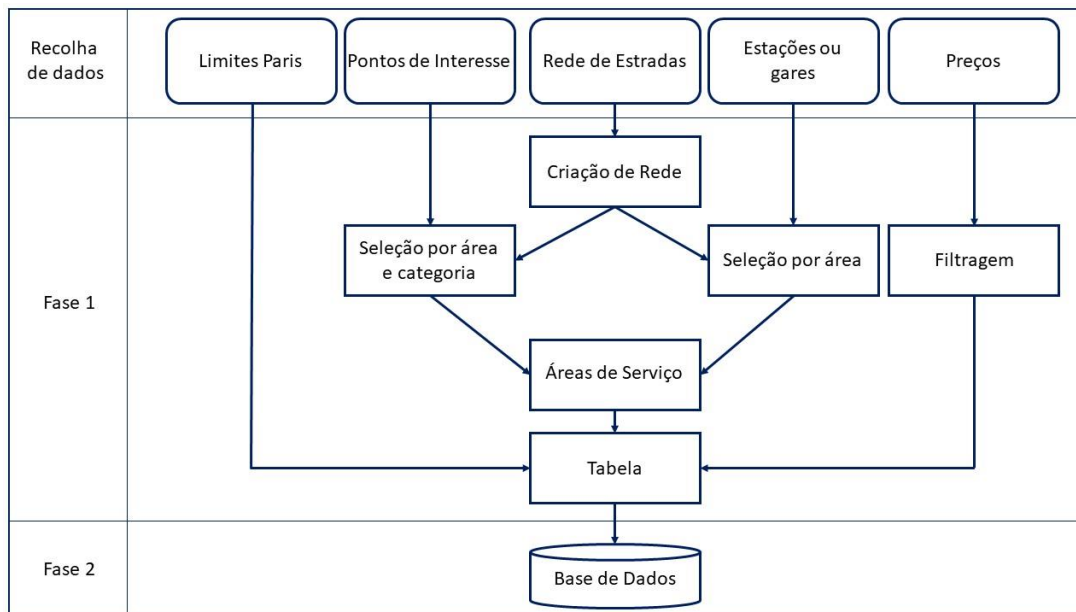


Figura 13: Esquema do pré-processamento, desde a recolha de dados à inserção na base de dados

Segue uma descrição dos procedimentos efetuados em cada fase.

Recolha de dados

Para a recolha de dados houve a preocupação em procurar exclusivamente fontes livres, gratuitas e legais, tendo em atenção a qualidade dos mesmos, ou seja, foi dada prioridade a fontes oficiais de organismos competentes.

Limites de Paris

Os limites da cidade de Paris foram descarregados da página de dados abertos gerida pelos serviços administrativos da cidade, "Paris Data" (Figura 14). Esta página distribui os dados sob a licença "Open Database" (ODbL), em vários formatos.

Para a realização do projeto foi utilizado o ficheiro *75_paris.shp*, no formato *Shapefile*.

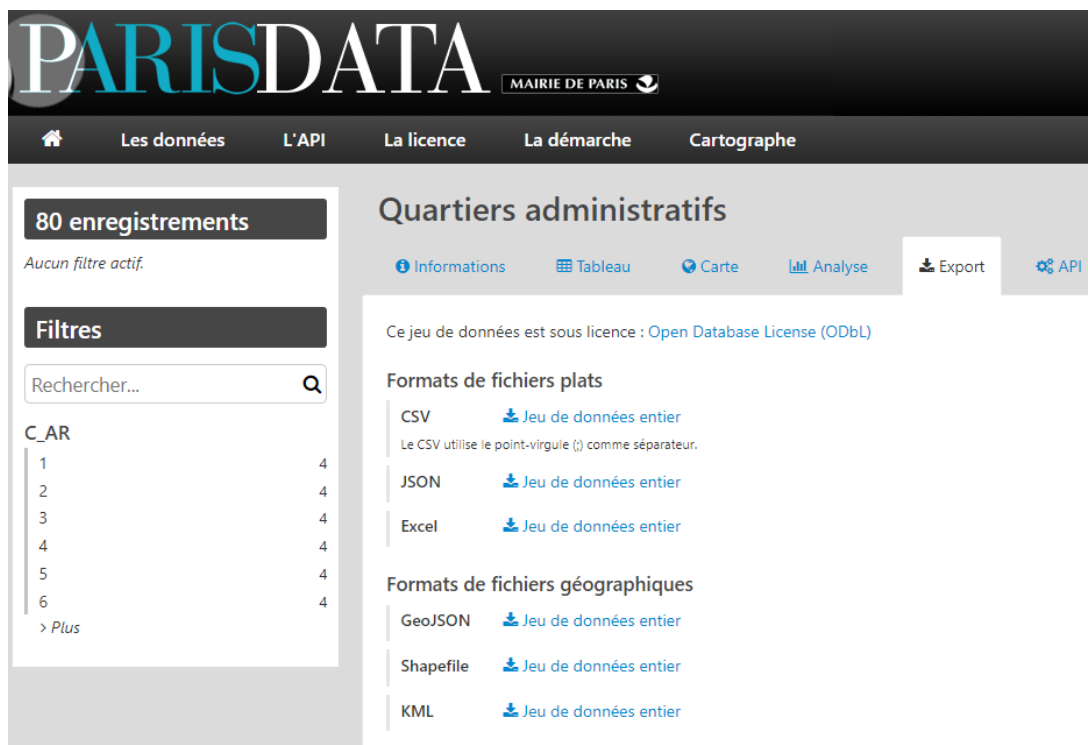


Figura 14: Excerto da página de dados abertos «Open Data» da cidade de Paris, consultado em outubro 2017

Pontos de interesse

Os pontos de interesse escolhidos foram a localização de padarias e de supermercados. Esta seleção é arbitrária, pois pretende apenas servir de exemplo, podendo todo o processo ser usado usando mais ou outros pontos de interesse que sejam da conveniência do utilizador.

A localização dos pontos foi retirada da página da *Geofabrik* (<https://www.geofabrik.de>), que disponibiliza a informação presente no OSM, igualmente sob licença ODbL. Na página são mostradas várias informações como, por exemplo, o tempo desde a última atualização, que é um fator a ter em conta para a qualidade dos dados, bem como a documentação onde são explicadas as categorias presentes.

Os pontos de interesse foram descarregados no formato *Shapefile*. Este ficheiro, chamado *points.shp*, inclui todos os pontos presentes no OSM na região de Ile-de-France, tendo cada um deles a identificação única, a data de implementação, o nome e a categoria.

Rede de estradas

A rede de estradas também foi descarregada na página da *Geofabrik*. Este ficheiro, denominado *roads.shp*, consiste apenas em linhas com a informação e designação da estrada (Figura 11).

Estações

As estações de rede ferroviária, isto é, metro e comboio, da cidade de Paris foram descarregadas na página de dados abertos do STIF¹ (*Syndicat des Transports d'Ile-de-France*).

Segundo um estudo encomendado em 2012 pelo STIF, 71% das deslocações em transportes públicos dentro de Paris são efetuados de metro, enquanto 95% das ligações entre a capital e os subúrbios, em transportes públicos, são efetuadas de comboio (Omnil, 2013). Esta estatística mostra como o transporte ferroviário é importante para os habitantes desta cidade, sendo por isso a acessibilidade às estações um critério passível de ter em conta.

Os dados foram mais uma vez descarregados da página do STIF (Figura 15) em formato *Shapefile*, sob o nome *gares.shp*, e são cedidos sob uma licença Etalab.

¹ Em junho de 2017 o STIF muda de nome, passando a designar-se *Ile-de-France Mobilités*.



Figura 15: Excerto da página de dados abertos do Ile-de-France Mobilité, consultado em outubro 2017

Preços de habitação

Esta informação está presente sob forma de dados alfanuméricos, ou sejam, foram recolhidos sob forma de informação de preço de imobiliário em Paris por metro quadrado, por cada freguesia.

Os dados podem ser consultados gratuitamente em detalhe na página dedicada ao imobiliário do notariado “*Notaires de France*”. Na Tabela 1 resume-se a descrição dos dados usados na produção deste trabalho:

	Tipo de dados	Fonte	Licença	Data
Limites Paris	<i>Shapefile</i>	OpenData Paris	ODbL	Outubro 2017
Pontos de interesse	<i>Shapefile</i>	OSM	ODbL	Março 2016
Rede de estradas	<i>Shapefile</i>	OSM	ODbL	Março 2016
Estações	<i>Shapefile</i>	STIF	Etalab	Março 2016
Preços de habitação	Alfanumérico	<i>Notaires de France</i>	N/A	Março 2016

Tabela 1: Características dos dados recolhidos

Fase 1: preparação e tratamento dos dados

Todas operações desta fase foram realizadas no programa QGIS. Esta fase começa com a preparação individual de cada ficheiro, onde foi verificada a coerência do sistema de coordenadas. Os limites geográficos para cada um deles foram definidos pela fronteira do ficheiro *75_Paris.shp*, onde estão também delimitadas os 20 *arrondissements*. Dos vários atributos desta tabela, apenas foram guardados:

- ID_GEOFLA: número único de cada elemento
- INSEE: código postal
- NOM_COM: nome comum

Criação de rede de estradas

A rede de estradas foi criada a partir do ficheiro *roads.shp*, que consiste em informação vetorial com o nome de cada estrada ou rua para cada linha. Foi assim necessário criar uma rede a partir dessas linhas, usando o *plugin "Road Graph"*.

As definições foram configuradas para simular a marcha média de um ser humano, ou seja, cada rua pode ser percorrida a uma velocidade de 4km/h.

A nova tabela correspondente à rede tem os seguintes atributos:

- OBJECTID: número único para ca linha
- SHAPE: tipo de linhas criadas, neste caso é invariavelmente *Polyline*, ou seja, cada linha pode ter vários pontos a defini-la. Cada ponto corresponde a um cruzamento ou "nó".
- NAME: nome da rua
- LENGTH: comprimento de cada rua
- TIME: tempo que demora a percorrer a rua à velocidade definida na criação da rede

Seleção por área e categoria

A seleção por área foi feita em todos os casos recorrendo à função Clip entre os dados vetoriais e a área do ficheiro *75_Paris.shp*. No caso das estações de metro e comboio, esta função permitiu trabalhar apenas com as que se encontram dentro da cidade, assim como para o caso de padarias e supermercados do ficheiro *points.shp*.

Para tratar dos pontos de interesse marcados como padarias e supermercados de forma isolada, foram selecionados seguindo a pesquisa do QGIS e gravados como tabelas independentes.

Áreas de serviço

Uma vez separados os três tipos de pontos de interesse (padarias, supermercados e estações), foram criadas estações de serviço sobre a rede de estradas previamente tratada.

As áreas de serviço “são estruturas que se podem obter a partir de uma rede, eventualmente multimodal e parametrizável, as quais são constituídas por polígonos, cada qual correspondente a uma zona situada entre um certo intervalo de custo, relativamente a uma certa *feature*”. (Tralhao, Coutinho-Rodrigues, & Sousa, 2015)

Usando esta definição, a rede usada foi a rede de estradas *roads.shp* (como descrito anteriormente no capítulo 3.2.2.1.), e as *features* os pontos selecionados em 3.2.2.2. e ainda os pontos correspondentes às estações ferroviárias.

Os intervalos de custo foram definidos em minutos, visto a rede ter sido criada com um perfil de marcha, para simular o tempo que uma pessoa demora até chegar a esses pontos.

Cada conjunto de pontos foi tratado separadamente, e foram assim construídos os polígonos correspondentes a cinco intervalos de custo, para cada conjunto:

- Entre 0 a 2 minutos
- Entre 2 a 5 minutos
- Entre 5 a 10 minutos
- Entre 10 a 15 minutos
- Entre 15 a 20 minutos.

A estes intervalos vai corresponder o peso que o utilizador dá a cada parâmetro.

Filtragem

A filtragem consistiu em selecionar os preços médios de habitação para cada freguesia, por metro quadrado, na área correspondente à cidade de Paris. Foram eliminados os valores atribuídos a freguesias ou localidades que se encontrem fora deste perímetro.

Tabela

Os resultados de todos os procedimentos anteriores foram agrupados numa tabela única no formato *Shapefile*. Para os dados alfanuméricos foi adicionada uma coluna, correspondente ao preço médio de habitação por freguesia. Finalmente a cada critério foi atribuído um número único para facilitar a programação dos algoritmos e a integração na base de dados, seguindo a relação da Tabela 2.

Critério	Estações	Supermercados	Padarias	Preço
Valor	0	1	2	3

Tabela 2: valores atribuídos a cada critério

As operações sobre os dados no programa QGIS completam a Fase 1, podem ser representadas esquematicamente de acordo com a Figura 16.

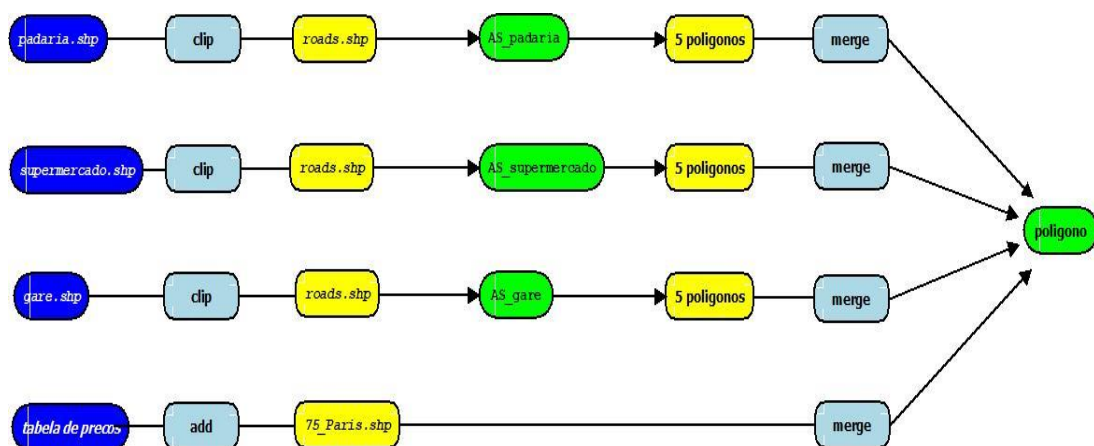


Figura 16: Modelação da Fase 1

Fase 2: Base de dados

Uma base de dados é uma coleção estruturada de dados onde é possível armazenar e extrair conhecimento de modo eficiente (Gonçalves, 2015). A implementação da base de dados está dividida em duas partes: o desenho, onde os dados são agrupados e as relações entre eles são definidas, e o carregamento no SGDB (Sistema Gestor de Bases de Dados), onde as tabelas são criadas e definidas condições especiais, permissões e restrições de acesso (Nunes, 2015).

Desenho da Base de Dados

Para a implementação da base de dados foi escolhido agrupar os dados numa única tabela, de modo simplificar o acesso e a facilitar o processamento, evitando a definição de entidades e relações (no caso de uma base de dados relacional) que, dada a organização definida na Fase 1 deste capítulo, seriam injustificadas. Esta operação, representada na Figura 17, implica automaticamente a junção espacial entre todos os ficheiros, criando multipolígonos, que são polígonos dentro de outros polígonos, mantendo todas as informações.

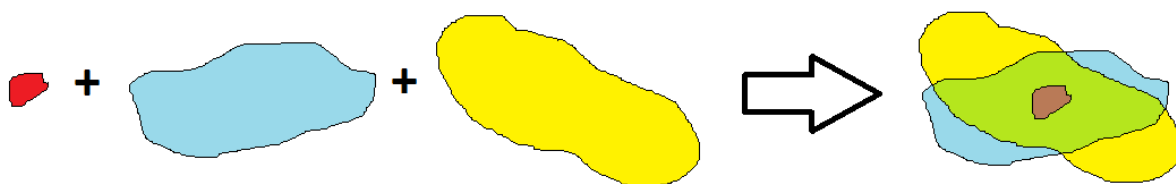


Figura 17: Junção espacial de camadas

A Tabela 3 mostra cada um dos atributos configurados, que correspondem às colunas, e as suas características.

Atributo	Descrição	Tipo de Dados	Restrição
id	Valor único de identificação	SERIAL	NOT NULL
insee	Identificação da freguesia	INTEGER	N/A
nomcom	Nome comum	VARCHAR	N/A
prix	Preço de habitação por metro quadrado	FLOAT	N/A
cat	Número da categoria do atributo	INTEGER	NOT NULL
facilityid	Número de cada perímetro calculado	INTEGER	NOT NULL
geom	Definição do tipo de geometria	GEOMETRY	NOT NULL

Tabela 3: Definição dos atributos da Base de Dados

Carregamentos no SGDB

Para manipular a base de dados é necessário um SGDB. Para este efeito foi escolhido o *PostgreSQL* por ser gratuito, em código aberto e permite a integração da extensão *PostGIS*, que habilita o sistema com suporte para objetos geográficos na BD (Base de Dados), ou seja, permite a introdução, manipulação e análise de informação geográfica através da interface do *PostgreSQL*. Esta extensão introduz informação referente à geometria de um objeto, e um conjunto de funções para lidar com as geometrias dos elementos e desenvolver tarefas de geoprocessamento (Heda & Chikurde, 2016).

Para armazenar a BD é necessário definir um servidor, ou seja, um local onde seja possível aceder aos dados. Para testar o funcionamento do sistema, o servidor é o próprio computador onde se realiza a programação do sistema, sendo definido como *localhost*.

A Figura 18 resume os serviços usados para cada uma das Fases descritas no pré-processamento.


Recolha de dados		internet
Fase 1		QGIS
Fase 2		PostgreSQL + PostGIS

Figura 18: Etapas e serviços do pré-processamento

3.2. Métodos

3.2.1. Modelo matemático

O modelo matemático foi construído de modo a representar realisticamente as preferências do utilizador. Para o caso dos pontos de interesse considerados, é atribuído um valor superior às zonas mais próximas, criadas previamente sob forma de áreas de serviço, diminuído consoante se afasta de cada atributo.

Foram criadas cinco áreas de serviço para cada critério, sendo atribuídos valores entre 0 e 20 divididos igualmente, como mostra a Tabela 4:

Área de serviço	Valor
Entre 0 a 2 minutos	20
Entre 2 a 5 minutos	16
Entre 5 a 10 minutos	12
Entre 10 a 15 minutos	8
Entre 15 a 20 minutos	4

Tabela 4: Distribuição dos valores das Áreas de Serviço

Para valores fora destes intervalos é considerado o valor 0.

No caso dos preços do imobiliário, considera-se que um preço mais baixo é favorável, tendo sendo por isso atribuída uma escala semelhante, dividida em cinco partes iguais, onde o valor dos preços mais elevados é inferior.

Contudo, o utilizador deverá dar prioridade a certos atributos em detrimento de outros. Para ter em conta este aspeto pessoal, é atribuído a cada um o peso, que vai ser escolhido na página inicial e que influencia o mapa final.

Considere-se então que se quer calcular a variável $[L_i]$, correspondente à localização de cada critério. O modelo matemático aplicado é:

$$[L_i] = \frac{K_i}{\sum K} [V_i] , \quad [0; 20]$$

Onde:

K_i : Peso atribuído a cada critério;

V_i : Valor da Área de Serviço do critério;

$\sum K$: Soma de todos os pesos escolhidos.

Segundo o modelo apresentado, os valores dados na Tabela 4 são organizados num vetor e o resultado da localização representa o produto entre um escalar, que é calculado como a divisão entre o peso dado a um atributo e a soma dos pesos de todos os atributos, e esse vetor. A análise pode ser expressa em diferentes escalas,

relativas ou absolutas. Contudo, grande parte dos métodos multicritério são expressos na mesma escala, o que requer a normalização no modelo matemático para comparar os diferentes critérios (Chakhar & Mousseau, 2007). O cálculo da divisão apresentada no modelo permite ponderar os pesos, ou seja, o peso escolhido para um critério é relativo aos pesos dos critérios restantes. Contudo, o modelo prevê que pelo menos um critério tem que ter valor diferente de zero. Deste cálculo resulta um vetor para cada critério.

O utilizador tem a possibilidade de escolher os pesos de acordo com a importância dada a cada critério, divididos igualmente em cinco graus, ou seja, 0, 0.25, 0.5, 0.75 ou 1.

Adicionalmente foi calculado o algoritmo sobre os valores resultantes para representar a escala de cores. Um primeiro cálculo auxiliar foi guardado na variável $[V_i]$. Como o valor máximo que o vetor $[L_i]$ pode ter é 20, a divisão por este valor permite limitar os valores ao domínio pretendido.

$$[V_i] = 240 \times \frac{[L_i]}{20}, \quad [0; 240]$$

Para calcular os valores da divisão da escala de cores, é necessário encontrar os valores máximo, V_{max} , e mínimo, V_{min} , encontrados do cálculo anterior, para qualquer critério:

$$[C_i] = L_{min} + (i - 1) \times \frac{(V_{max} - V_{min})}{4}, \quad \{1 \leq i \leq 5 \in N\}$$

Ou seja, é calculado um vetor de cinco elementos, um para cada nível, sem ser necessário separar os critérios, pois essa discriminação não é importante no mapa final. A representação das cores é calculada entre 0 a 240, que corresponde, no modelo HSL (*Hue Saturation Luminosity*) à escala de cores entre vermelho e azul.

3.2.2. Arquitetura do WebSIG

O princípio básico de um WebSIG é o utilizador enviar um pedido ao servidor e, de acordo com esse pedido, é apresentado um resultado (Heda & Chikurde, 2016).

O utilizador terá como interface um navegador *web*, onde pode definir os critérios e que mostrará o mapa final. Para a criação desse mapa, o pedido passa pelo esquema representado na Figura 19.

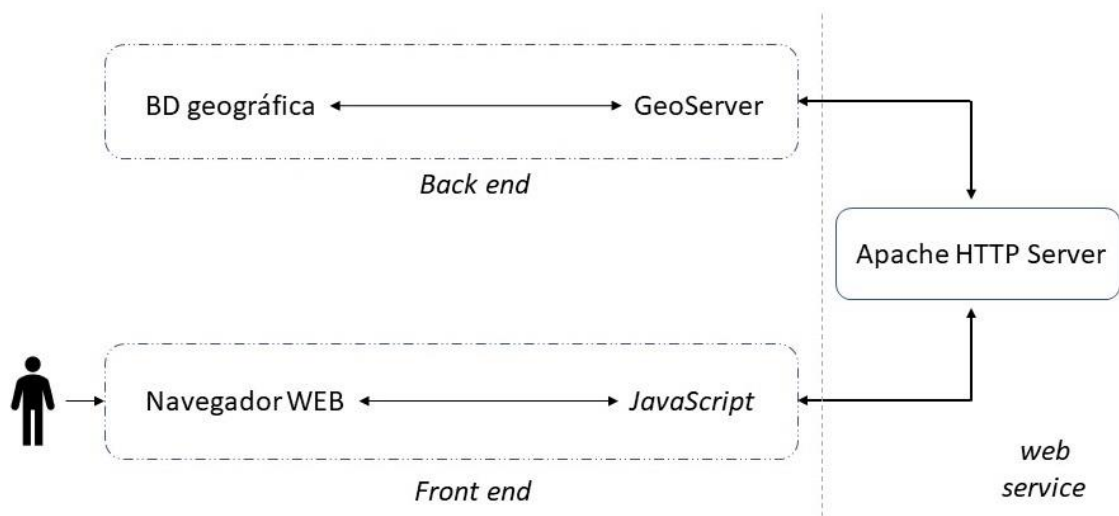


Figura 19: Esquema de WebSIG

A arquitetura representada consiste em três componentes principais: *front-end*, *back-end* e *web service*.

Front-end: termo usado para designar as componentes de interface e recolha de informação com o utilizador (Rouse, 2006). Fazem parte o navegador web, bem como as linguagens de programação e aplicativos usados na sua construção.

A página *web* foi programada em linguagem HTML5 e estilizada através de folhas de estilo CSS3. As funcionalidades foram programadas em *JavaScript* e usadas as bibliotecas *jQuery* e *Leaflet*.

- *jQuery*: é uma biblioteca em código aberto desenvolvida para disponibilizar mapas a navegadores *web*. Esta biblioteca dá ainda acesso ao mapa de cobertura OSM que, ao iniciar a aplicação, efetua uma ligação ao servidor do OSM para mostrar o mapa.
- *Leaflet*: é uma biblioteca *JavaScript* de código aberto, usada para criar mapas interativos, contendo, de base, as ferramentas mais usadas em programação de mapas, e que pode ser expandida com plugins para complementar ou adicionar funcionalidades (Leaflet, 2017) .

Web Service: é o método que garante a comunicação entre o *front-end* e o *back-end*, usando uma linguagem comum (Rouse, 2006). O *web service* usado é o *Apache HTTP Server*, juntamente com o *Apache Tomcat Servlet*, ambos de código aberto.

- *Apache HTTP Server*: permite a criação de um servidor que providencie serviços na *web*, recorrendo a normas HTTP.
- *Apache Tomcat Servlet*: é uma extensão que permite simplificar o processo de ligação entre aplicações escritas em Java como, por exemplo, o *GeoServer*.

Back-end: refere-se à componente responsável pela comunicação com os recursos disponíveis no servidor (Rouse, 2006). Desta componente fazem parte o SGBD de código aberto *PostgreSQL*, a extensão *PostGIS* e o *GeoServer*.

- *GeoServer*: é um servidor de informação geográfica em código aberto, que suporta WFS (*Web Feature Service*) e WMS, e que pode ser ligado a uma base de dados geográfica via *PostGIS*. Inclui ainda a API REST (*Representational State Transfer*) que permite a manipulação dos dados em tempo real (Michaelis, 2013).

- *PostgreSQL*: é um SGBD relacional desenvolvido pela Universidade da Califórnia no departamento de ciências informáticas de Berkeley, que suporta linguagem SQL (*Structured Query Language*) (Vaswazni, 2016).
- *PostGIS*: extensão de código aberto que confere ao SGBD a capacidade de lidar com atributos e funções de objetos espaciais (Heda & Chikurde, 2016).

O funcionamento do WebSIG pode resumido nas seguintes etapas:

- 1- O utilizador acede à página *web*. Esta carrega o mapa base e regista as opções escolhidas.
- 2- As opções são guardadas em variáveis no código *JavaScript* da página.
- 3- É efetuada a comunicação com o *web service*, onde são pedidos os dados geográficos.
- 4- O *web service* efetua a comunicação com o servidor de mapas, *GeoServer*.
- 5- O *GeoServer* recupera os dados geoespaciais da SGDB, via a extensão *PostGIS* e devolve ao *web service*.
- 6- o *web service* devolve os dados à página inicial sob forma de mapa com base OSM, usando a biblioteca Leaflet.
- 7- o modelo matemático é aplicado diretamente na página, o mapa é colorido de acordo com a escala definida no código.

3.2.3. Aplicação do WebSIG

O procedimento descrito na aplicação do WebSIG foi usado e testado num único computador pessoal, sendo por isso os endereços assinalados em *localhost*. No entanto o procedimento é semelhante para funcionamento em rede, bastando para isso a que a instalação seja feita num servidor.

PostgreSQL

Para aplicar o WebSIG foi necessário instalar o *PostgreSQL*, onde foi criada a base de dados com o auxílio do programa pgAdmin, que serve de interface.

O carregamento dos dados foi feito recorrendo à aplicação *shp2pgsql.exe*, presente na extensão *PostGIS*. Além da base de dados, o *PostGIS* cria ainda duas tabelas suplementares no esquema *public*:

geometry_columns: tabela que regista atributos geográficos e as suas propriedades;

spatial_ref_sys: tabela com os sistemas de referencia;

Uma vez carregada a base de dados, é necessário verificar definir as restrições de integridade. Esta ação consiste em definir a coerência da tabela, ou seja, definir as chaves primarias e estrangeiras de cada tabela bem, para efetuar as relações, como os campos que podem ou não ser nulos. Neste caso em particular, como a BD é uma única tabela, foi realizada apenas a ultima ação.

GeoServer

Estando a BD funcional, foi instalado o *GeoServer* e criado um *workspace* para o projeto, e uma *store* onde é definida a ligação ao *PostGIS*.

Efetuada a ligação, os dados podem ser visualizados e solicitados pelo *web service*, de modo a disponibiliza-los graficamente na *web*. Esta ligação implica que o serviço WMS seja configurado, de modo a responder a dois pedidos:

GetCapabilities: devolve metadados referentes ao serviço WMS, formatado segundo as normas XML (*eXtensible Markup Language*).

GetMap: devolve uma imagem do mapa de uma área definida.

Como o Geoserver é um *applet* Java, ou seja, é um servidor aplicado de mapas, pode correr facilmente no servidor *Apache*.

Apache

A configuração do *web service Apache* foi definida de modo a que as funcionalidades da página *web* sejam acedidas em *localhost*.

Página Web

A pagina web foi programada em HTML, contendo bibliotecas e *scripts* de *JavaScript*. Esta solução permite, cada vez que a página é acedida, é feito um pedido ao servidor para carregar os dados na pagina em formato JSON (*JavaScript Object Notation*). O formato JSON tem a vantagem de ser leve e de facilmente compreendido.

As escolhas do utilizador são guardadas sob forma de números, correspondentes aos pesos (0, 0.25, 0.5, 0.75 ou 1), em variáveis no código da página.

Dada a facilidade de leitura do formato JSON, foi programada uma função para aceder aos valores das colunas correspondentes à escala de valores, bem como da coluna de identificação do critério. Assim, estão definidas todas as variáveis do modelo matemático que, uma vez aplicado, devolve um valor dentro do domínio para cada polígono. Calculados estes valores, falta definir a escala de cores. Para isso

foram programadas duas funções de pesquisa, uma para encontrar o valor mais alto e outra para calcular o valor mais baixo encontrados do conjunto de valores.

Estas foram definidas usando o código de cores HSL, interpretado pela folha de estilo CSS3.

A biblioteca Leaflet interpreta o formato JSON bem como a coleção de estilos definida para a legenda, e implementa no mapa base OSM os polígonos com as respectivas cores, formando assim um mapa de apoio à decisão para escolha de casa, baseado nas preferências do utilizador.

A apresentação é feita no navegador Mozilla Firefox, mas funciona com qualquer outro à escolha do utilizador.

Seguem três exemplos de perfis de potenciais utilizadores.

1) Pessoa com veículo de função

Consideremos o caso de uma pessoa de classe média que se desloca sobretudo de carro. Esta pessoa pode ter preferências equilibradas sobre os vários critérios, mas procura um preço de imóvel acessível. A proximidade a transportes públicos não será considerada uma prioridade. Os pesos atribuídos por essa pessoa seriam:

- Gares e estações: 0
- Supermercado: 0.25
- Padaria: 0.75
- Preço: 0.75

A Figura 20 mostra o resultado para este perfil, sendo as zonas próximas a estações desconsideradas, tendo um maior impacto nas zonas perto de padarias.

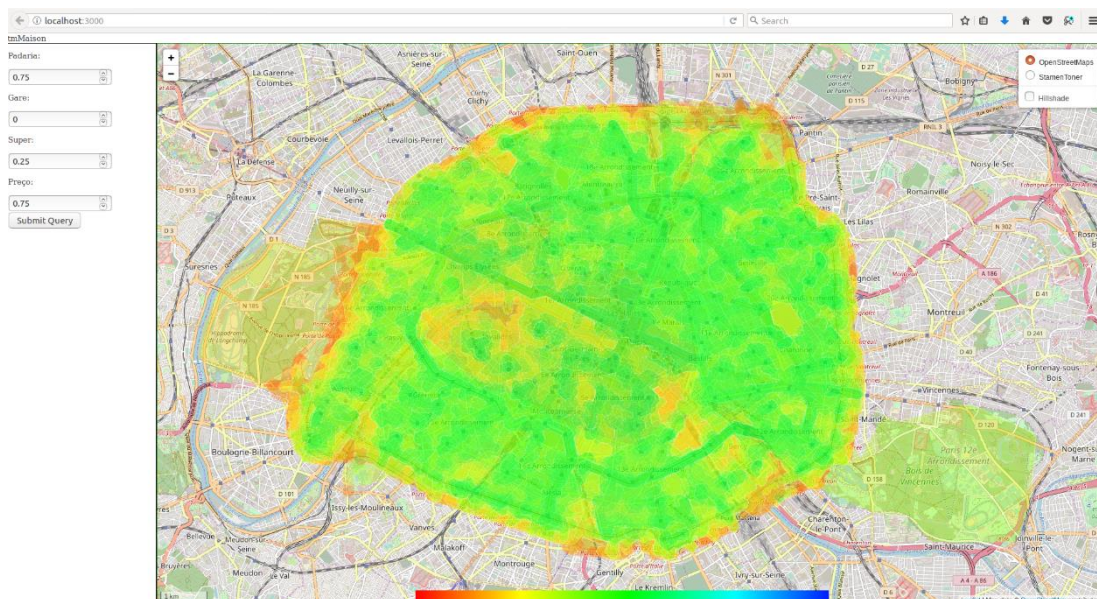


Figura 20: Primeiro exemplo de perfil

2) Família numerosa

Considere-se o caso de uma família numerosa. Provavelmente terá em conta a proximidade ao comércio (padarias e supermercados), e aos transportes públicos, mas terá que fazer concessões em relação ao preço. Para exemplo temos os seguintes pesos:

- Gares e estações: 0.75
- Supermercado: 0.5
- Padaria: 0.75
- Preço: 0.25

Para este caso, como se apresenta na figura 21 e em comparação com o utilizador do perfil 1, vê-se um aumento das zonas perto da cor vermelha, por ter feito mais concessões.

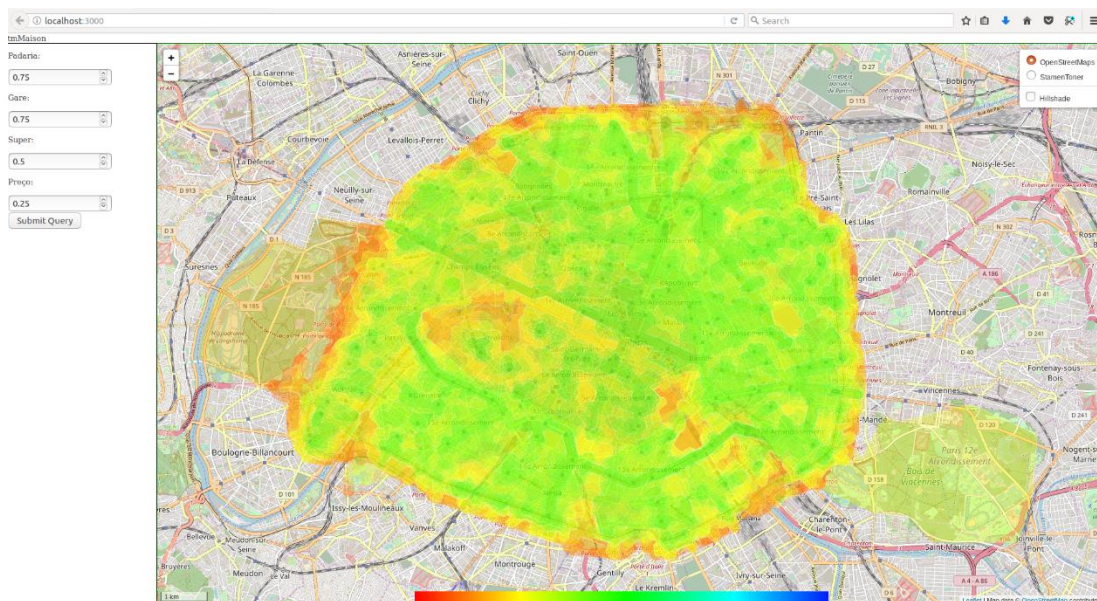


Figura 21: Segundo exemplo de perfil

3) Jovem adulto

Imaginemos neste caso um jovem adulto que se desloca sobretudo de bicicleta no dia a dia. Neste caso os transportes públicos não serão uma prioridade, mas terá uma preferência por viver perto de um supermercado. Esta pessoa escolheria os seguintes pesos:

- Gares e estações: 0
- Supermercado: 1
- Padaria: 0.5
- Preço: 0.5

Na Figura 22 apresenta-se o resultado do mapa para um utilizador com este perfil, notando-se em relação aos dois perfis precedentes que a relação procurada se encontra mais próxima do que a cidade pode oferecer.

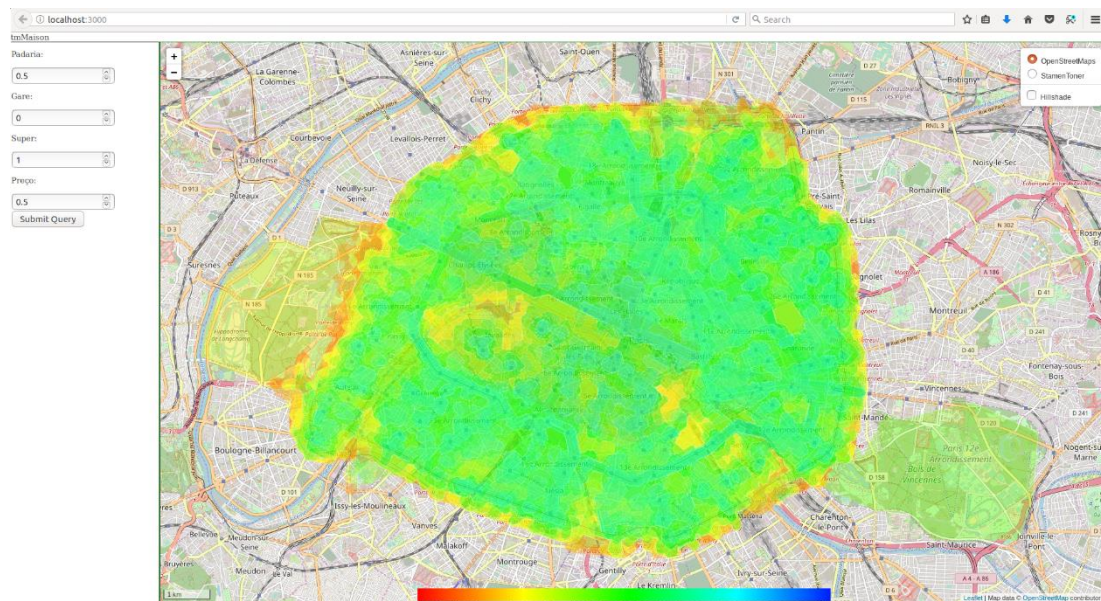


Figura 22: Terceiro exemplo de perfil

4. Conclusões

Este trabalho propõe descrever um método possível para publicar uma página *web* onde, a partir de um mapa, o utilizador recebe a informação das localizações que melhor se adaptam às suas escolhas. As escolhas são feitas em tendo em conta um número limitado de critérios pré-definidos. Para fazê-lo, foi necessário usar um conjunto de ferramentas e de conhecimentos isolados, que implicaram muito tempo de pesquisa e de testes para encontrar o modo certo de complementar as diferentes etapas. Se o ponto de partida são os conhecimentos em SIG, que é uma área em desenvolvimento permanente e que, por isso, implica um estudo das funcionalidades disponíveis atualmente, grande parte do trabalho consiste em informática e programação.

Um ponto essencial neste trabalho é o modelo matemático, construído tendo em conta os princípios do MCE mas, sendo específico para esta proposta, foi desenvolvido de modo lógico para obter os resultados esperados para cada caso. No entanto é aplicável para qualquer outro estudo análogo.

A grande vantagem deste sistema é ser autónomo, no sentido em que o resultado pode ser consultado a partir de qualquer navegador *web* por qualquer pessoa sem conhecimentos específicos nem outros programas externos. A solução implementada neste trabalho pode ser, recorrendo a adaptações mínimas, transposta para uma configuração baseada em múltiplas máquinas, independentemente dos sistemas operativos utilizados.

A página principal foi construída em HTML5, interpretada por qualquer navegador *web*, recorrendo a bibliotecas *JavaScript* para decodificar a informação geográfica proveniente do *web service*, nomeadamente o Leaflet que se revelou bastante eficaz e de fácil aprendizagem. O desenvolvimento da linguagem HTML e a implementação de bibliotecas *JavaScript* permite aplicar todo o modelo matemático diretamente na página, o que torna a aplicação mais rápida.

4.1. Análise e discussão

O objetivo de criar um WebSIG interativo usando apenas dados gratuitos e programas de código aberto foi satisfatoriamente cumprido, não sem, contudo, terem sido feitas algumas concessões.

Um dos principais problemas desta abordagem é que não prevê uma atualização automática dos dados, o que implica, nesse caso, a que o operador tenha que refazer todo o pré-processamento.

O processo foi pensado de modo a minimizar os recursos para ser facilmente implementado. Pretende demonstrar uma via possível para construir um WebSIG, usando os critérios que, apesar de válidos, servem apenas de exemplo. Outros poderiam ter sido escolhidos ou adicionados, que o processo seria semelhante.

A escolha sobre dados vetoriais foi feita pois têm a vantagem de serem bastante mais fáceis de transferir, sob forma de texto, o que torna todo o processo bastante fluido. Contudo, usando formato matricial seria mais indicado para resolver problemas de álgebra de mapas, mas neste caso implicaria a transferência e a aplicação do modelo matemático sobre imagens, o que ainda é pouco viável, devido à quantidade de dados, necessários para obter um resultado via *web*. Do mesmo modo a BD poderia ter sido desenhado de forma relacional, o que seria teoricamente mais adaptado, mas para a resolução do problema proposto seria adicionar uma etapa sem funcionalidade prática.

As soluções em código aberto são funcionais, oferecendo um leque vasto de soluções, algumas delas redundantes. Quando dominadas, oferecem ainda a possibilidade de serem desenvolvidas ou alteradas de modo a otimizar as funcionalidades. Por outro lado, a informação encontra-se dispersa, o que dificulta a procura da ferramenta adequada para cada um dos casos. Frequentemente as aplicações em código aberto não são otimizadas para o cliente, ou seja, não são *user-friendly*, o que pode implicar muito tempo de pesquisa e conhecimentos de informática para usá-las convenientemente.

A proposta inicial foi, no entanto, cumprida com um modelo funcional, sendo ainda possível de complementar e juntar novas funcionalidades.

4.2 Desenvolvimentos futuros

Como em qualquer aplicação informática, há sempre possibilidade de evoluir o programa. Ao longo do desenvolvimento deste WebSIG, foram testadas várias opções com resultados mais ou menos pertinentes. Devido à quantidade de opções disponíveis para cada etapa, sobretudo no domínio do código aberto, poderia ser interessante escolher outras fontes, outras ferramentas, outros programas, outras bibliotecas e ainda outros formatos para comparar as soluções. Seria igualmente interessante analisar os resultados a partir de outros métodos estatísticos, de modo a dispersar melhor as cores, sendo assim mais perceptíveis quais os locais que melhor correspondem à configuração pretendida.

Outro caso de estudo seria usar mais dados e/ou mais critérios, usando o mesmo modelo, de forma que os resultados seriam mais refinados. Seria interessante a nível de resultado final, mas inalterável em termos de metodologia.

Existe também a possibilidade de explorar as opções propostas pelas bibliotecas *JavaScript* que permitem a interação direta do utilizador. Por exemplo, acrescentar uma possibilidade onde utilizador possa adicionar uma preferência de localização diretamente no mapa, que poderia servir para acrescentar um critério, ou limitar a pesquisa num determinado raio.

Este sistema só prevê que o interesse de um utilizador em ficar mais perto dos critérios definidos, ou simplesmente ignorá-los. Um outro conceito que pode ser acrescentado passa por acrescentar a possibilidade de o utilizador querer afastar-se de determinados pontos, por exemplo, afastar-se das estações para evitar o ruído provocado por um comboio.

Bibliografia

- Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2014). Development and Comparison of Open Source based Web GIS Frameworks on WAMP and Apache Tomcat Web Servers. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4 (May), 1–5. [Em linha]. [Consult. 10 Novembro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-1-2014>
- Anastasia, N., & Suwitro, A. L. (2015). The Rational and Irrational Factors Underlying Property Buying Behavior. *Journal of Economics and Behavioral Studies*, 7, 183–191.
- Agence Pour la Création d'Entreprises, *Boulangerie pâtisserie artisanale*, 2007. 1-23
- Arnaud, B. (2013). *Le commerce alimentaire de proximité Analyse de marché et évolution des plaintes de consommateurs*, 1–9. [Em linha]. [Consult. 26 Outubro 2017]. Disponível em: http://www.economie.gouv.fr/files/directions_services/dgccrf/documentation/dgccrf_eco/dgccrf_eco17.pdf
- Barnes, R., & Lepinski, M. (2017). *IEEE Xplore - Internet geolocation and location-based services*. [Em linha]. [Consult. 01 Novembro 2017]. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5741153
- Base d'Informations Economiques Notariales - Notaires de Paris - Ile de France, *Deux décennies d'immobilier en Ile-de-France*, 2014.
- Bluenove (2011), *Open Data : quels enjeux et opportunités pour l'entreprise ?*, 1-65
- Bredel, C., & Dürr, O. (2009). InfObservatoire, *SIG et WebSIG - des outils au service des territoires*, 26
- Bruce, B., & Eng, P. (2007). *A Survey of Open Source Geospatial Software*, 1–48.
- Bryniarska, Z., & Zakowska, L. (2017). Multi-criteria evaluation of public transport

- interchanges. *Transportation Research Procedia*, 24, 25–32. [Em linha]. [Consult. 07 Novembro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.063>
- Burr, C., & Barrows, N. (2012). All about Open Source- An Introduction to Open Source Software for Government IT (Version 2.0). *Cabinet Office (Home Office), UK*, (April), 1–28. [Em linha]. [Consult. 21 Outubro 2017]. Disponível em: https://update.cabinetoffice.gov.uk/sites/default/files/resources/All_About_Open_Source_v2_0.pdf
- Carrara, W., Chan, W. S., Fischer, S., & Steenbergen, E. van. (2015). *Creating Value through Open Data: Study on the Impact of Re-use of Public Data Resources*. [Em linha]. [Consult. 22 Outubro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.2759/328101>
- Chakhar, S., & Mousseau, V. (2007). Spatial Multicriteria Decision Making. *Decision Analysis*. [Em linha]. [Consult. 06 Novembro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1>
- Cordeiro, J. P., Barbosa, C. C. F., & Câmara, G. (2001). Álgebra De Campos E Objetos. *Introdução À Ciência Da Geoinformação*, p. 26
- Dachary, B., & Mercat, L. (2017). *Mappy poursuit sa transformation en devenant l'assistant de déplacement des Français*
- Dowling, J. N., *Finding Your Best-Fit Neighborhood: a Web Gis Application for Online Residential Property Searches for Anchorage, Alaska*, Faculty of the University of Southern California, 2014. Tese de mestrado
- Drejeris, R., & Kavolynas, A. (2014). Multi-criteria Evaluation of Building Sustainability Behavior. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 110, 502–511. [Em linha]. [Consult. 06 Novembro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.894>
- Eastman, J. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. *Geographical Information Systems*, 493–502. [Em linha]. [Consult. 06 Novembro 2017]. Disponível em:

http://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch35.pdf

François, A. (2015). *Principaux services Web OGC Standards*, AERIS, 1–62.

Gonçalves, A. (2015). Introdução às Bases de Dados Relacionais. [Em linha].

[Consult. 20 Outubro 2017]. Disponível em:

https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/845043405441185/SIG_Tema02_BD_Relacional_6slides_cor.pdf

Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography.

GeoJournal, 69(4), 211–221. [Em linha]. [Consult. 27 Outubro 2017]. Disponível

em: <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2016).

Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote*

Sensing of Environment. [Em linha]. [Consult. 03 Novembro 2017]. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017).

Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote*

Sensing of Environment.

Halbout, H. (2014). *Inspire et Open Data : une complémentarité indispensable*,

Géomatique Expert, 101, p. 9–12.

Heda, M. R., & Chikurde, S. V. (2016). A Review : Geo-Information Technology for

Web-Mapping Application. *International Journal of Advanced Research in*

Computer and Communication Engineering, 5(3), 3–6. [Em linha]. [Consult. 26

Outubro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.17148/IJARCCE.2016.53141>

Henriques, P. M. F. (2015). *Desenvolvimento de uma solução WebSIG Opensource :*

autarquia livre, 88. [Em linha]. [Consult. 20 Outubro 2017]. Disponível em:

<https://run.unl.pt/handle/10362/18347%5Cnhttp://run.unl.pt/bitstream/10362/18347/1/TSI0114.pdf>

Horning, N., Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History, *Open Source Software Solutions*, 2016

International Council for Science, InterAcademy Partnership, International Social Science Council, & World Academy of Science. (2015). Open Data in a Big Data World. [Em linha]. [Consult. 23 Outubro 2017]. Disponível em: <http://www.icsu.org/science-international/accord>

Jackson, J. (2011). Open Source vs. Proprietary Software. *PC World*, 114(18), 26–31. [Em linha]. [Consult. 26 Outubro 2017]. Disponível em: http://www.pcworld.com/article/243136/open_source_vs_proprietary_software.html

Jégou, L. (2014). Département de Géographie, *Cartographie et SIG interactifs en ligne*. Assemblage, p. 1–7.

Johnson, L. E. (2009). Geographic Information Systems in Water Resources Engineering. *CRC Press*, 298. [Em linha]. [Consult. 19 Outubro 2017]. Disponível em: http://rehabblog.files.wordpress.com/2012/05/geographic_information1.pdf

Kanuganti, S., Agarwala, R., Dutta, B., Bhanegaonkar, P. N., Singh, A. P., & Sarkar, A. K. (2017). Road safety analysis using multi criteria approach: A case study in India. *Transportation Research Procedia*, 25, 4653–5665. [Em linha]. [Consult. 06 Outubro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.299>

Koklic, M. K., & Vida, I. (2006). An examination of a strategic household purchase: Consumer home buying behavior. *Advances in Consumer Research*, 33, 288–289. [Em linha]. [Consult. 11 Outubro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2010.00953.x>

Lachiche, N. (2013). *SIG : définition*, p. 1–8. [Em linha]. [Consult. 23 Outubro 2017]. Disponível em: <http://sig-pour-tous.forumactif.com>

Leaflet. (2017). Leaflet. [Em linha]. [Consult. 01 Novembro 2017]. Disponível em: <http://leafletjs.com/>

- Macdonald, B. J. A. (2006). *EcoCity Cleveland, A Decision-Support Model of Land Suitability Analysis for the Ohio Lake Erie Balanced Growth Program*. Framework.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65. [Em linha]. [Consult. 05 Novebembro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Marks, M. (2016). People Near Transit: Improving Accessibility and Rapid Transit Coverage in Large Cities. *Institute for Transportation and Development*, p. 34.
- Michaelis, C. (2013). Get started with GeoServer and its REST API, p. 1–10.
- Nunes, R. (2015). *Desenvolvimento de um SIG para gestão portuária – O caso do Porto de Lisboa*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Tese de mestrado
- Oloo, J. O., & Krapf, V. der. (2015). Spatial Data Infrastructure and Voluntary Geographic Information. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 2, 39–45. [Em linha]. [Consult. 28 Outubro 2017]. Disponível em: <http://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42350225.pdf>
- Omnil. (2013). *Enquête globale transport*. [Em linha]. [Consult. 02 Outubro 2017]. Disponível em: http://www.omnil.fr/IMG/pdf/egt2010_enquete_globale_transports_-_2010.pdf
- Pinto, R. C., Caneparo, S. C., & Passos, E. (2014). *Avaliação Multicritério integrada aos Sistemas de Informações Geográficas para geração de cenário de suscetibilidade a deslizamentos rápidos em vertentes*. p. 1-23
- Plumejeaud, C. (2005). *Quels outils et langages pour la cartographie libre sur le Web aujourd ' hui ?*, Conservatoire National des Arts et Métiers, Centre Regional Rhône-Alpes, Centre d'Enseignement de Grenoble - Examen probatoire en Informatique
- Pyle, A. (2017). *Real Estate in a Digital Age 2017 Report*, 1–33. [Em linha]. [Consult.

18 Outubro 2017]. Disponível em:

<https://www.nar.realtor/sites/default/files/reports/2017/2017-real-estate-in-a-digital-age-03-10-2017.pdf>

Quest, C. (2014). OpenStreetMap France, *API REST OpenStreetMap*,

Resende, J. (2016). *OpenStreetMap Como é? Como funciona?*, [Em linha]. [Consult. 01 Novembro 2017]. Disponível em: <http://www.openstreetmap.org/user/smaprs> OpenStreetMap p. 1–21.

Rouse, M. (2006). *What is front-end*. [Em linha]. [Consult. 31 Outubro 2017].

Disponível em: <http://whatis.techtarget.com/definition/front-end>

Roy, B. (1996). *Multicriteria methodology for decision aiding*. Ed. Springer, Nonconvex

Syndicat des transports d'Île-de-France. (2016). *La démarche d'Open Data du STIF*. STIF En Ligne, Janvier - Février 2016, p. 9 - 10.

Tomlin, C. D. (1990). *Geographical Information Systems and Cartographic Modeling*, Englewood. NJ: Prentice Hall.

Tomlin, C. D. (1994). Map algebra: one perspective. *Landscape and Urban Planning*, 30(1–2), 3–12. [Em linha]. [Consult. 29 Outubro 2017]. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)90063-9)

Tralhao, L., Coutinho-Rodrigues, J., & Sousa, N. (2015). *Algumas técnicas em ambiente SIG à obtenção de áreas de serviço de conjuntos de pontos*. Atas Das I Jornadas Lusófonas de Ciências E Tecnologias De Informação Geográfica.

Vaswazni, V. (2016). PHP and PostgreSQL. *Journal of World Trade*, 50, 675–704. [Em linha]. [Consult. 27 Outubro 2017]. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ejoc.201200111>

C& SIG

UNIGIS PT

